ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE
Corso di Laurea in Physics
Curriculum Didattica e Storia della Fisica

Scienza, tecnica e letteratura nel Seicento: le Due Lezioni all'Accademia Fiorentina circa la figura, sito e grandezza dell'Inferno di Dante tenute da Galileo Galilei

Relatore:
Chiar.mo Prof.
EUGENIO BERTOZZI

Presentata da:
GIORGIO ROTELLINI

Sessione di Luglio
Anno Accademico 2023-2024

"Deja que pase lo que tenga que pasar, nena
deja que pase porque va a pasar igual
Deja que pase lo que tenga que pasar, nena
deja que pase porque va a pasar igual
Hazte las preguntas,
aunque tengas que llorar
Hazte las preguntas,
las respuestas llegarán"

Sexy Zebras, *"Nena"*, Calle liberación (2022)

Indice

Introduzione

Il presente lavoro conduce un'analisi approfondita che ha lo scopo di mostrare come, e in che senso, le celebri "Due lezioni all'Accademia Fiorentina circa la figura, sito e grandezza dell'Inferno di Dante" (G. Galilei e Pratesi 2011) tenute da Galileo Galilei nel 1587 siano da considerarsi un prodotto della cultura del tardo '500.
Si vuole inoltre evidenziare che, essendo un importante testo scientifico, includono temi di avanguardia della ricerca fisica dell'epoca.
Il tema di queste lezioni è l'analisi e il confronto delle due diverse interpretazioni cinquecentesche della struttura fisica del primo regno ultramondano della Commedia di Dante Alighieri: l'Inferno (Alighieri 1993).
Le due letture al centro del dibattito erano state proposte dal fiorentino Antonio di Tuccio Manetti nel 1522 (Benivieni 1897) e dal veneziano di origini lucchesi Alessandro Vellutello nel 1544 (Vellutello 1544).
In queste lezioni Galileo Galilei analizza le due strutture dell'Inferno proposte dagli autori e stabilirà quale delle due è da ritenersi più plausibile con considerazioni di critica letteraria ma anche fisica; queste ultime saranno l'oggetto di nostro maggior interesse.
Nel primo capitolo di questo lavoro di Tesi verranno illustrate le linee di studio presenti attualmente in letteratura e dalle quali parte l'analisi successiva.
In particolare le letture scientifiche della Commedia di Dante (Vespri 2021), lo studio delle Due Lezioni all'interno del corpus galileiano (Peterson 2002) e anche i commenti al modo galileiano di leggere l'opera del poeta fiorentino (Grünbein 2003).
Un'ultima parte sarà dedicata al lavoro della ricercatrice messicana Maruxa Armijo Canto (Armijo Canto 1998) che ha pubblicato un articolo in cui mostra quali siano le radici matematiche del lavoro svolto da Galileo nelle Due Lezioni.
Successivamente verrà illustrato il contributo che il presente lavoro apporta a tale ambito di ricerca cercando di mostrare come quest'opera sia un prodotto che è figlio della cultura del tardo '500 e che quindi sono presenti alcuni temi di avanguardia della ricerca fisica dell'epoca.
In conclusione del capitolo verrà mostrato il processo di formulazione delle domande di ricerca che hanno guidato il presente lavoro.
Nel secondo capitolo verrà illustrato il contesto sociale e culturale delle Due Lezioni.
A tal fine verrà presentata inizialmente una breve ma necessaria biografia di Galileo Galilei, in particolare l'età giovanile in cui le Due Lezioni vennero tenute.
In seguito verrà descritto il contesto intorno al dibattito sulla struttura dell'Inferno nell'opera di Dante e si aggiungeranno maggiori dettagli sulle opere del Manetti e del Vellutello.
Verrà infine fatta vedere quale fosse l'avanguardia degli studi di fisica alla fine del XVI secolo specialmente negli ambiti che sono trattati nell'opera di Galileo Galilei: la geodesia, le unità di misura e la statica.
Nel terzo capitolo verrà trattata nel dettaglio scientifico l'analisi svolta da Galileo sulle opere del Manetti e del Vellutello.

In questo capitolo verrà messo in evidenza come Galileo, al fine di svolgere la propria analisi delle opere di Manetti e Vellutello, abbia utilizzato una serie di conoscenze ed elementi scientifici tipici del tardo Cinquecento, caratterizzandosi pertanto come scienziato-umanista pienamente radicato nel tardo Rinascimento.
Tale capitolo contiene anche il confronto tra la "legge di scala" che Galileo discute nelle Due Lezioni e, successivamente, nell'opera *"Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e ai moti locali"* (G. Galilei 1638).
L'ultimo capitolo di questa Tesi presenterà le riflessioni e le conclusioni prodotte dall'analisi di questo lavoro secondo la chiave di lettura descritta nei capitoli precedenti.

Capitolo 1

Le linee di studio attuali e il contributo del presente lavoro

Nel presente capitolo verranno elencate e descritte le principali linee di studio presenti in letteratura riguardo le Due Lezioni.
Le macro aree che sono state individuate sono principalmente quattro: Le Due Lezioni come esempio ed elemento importante nella storia dell'analisi fisica della Commedia di Dante, Le Due Lezioni come uno dei primi nodi centrali dell'opera galileiana, l'analisi del Galileo lettore e commentatore della Commedia e infine la visione delle Due Lezioni come figlie della cultura matematica del proprio tempo.
È in particolare quest'ultima chiave di lettura quella che risulterà essere di maggior interesse per il presente lavoro di Tesi. Sebbene minoritaria e presente in letteratura solo nell'analisi degli strumenti matematici adoperati da Galileo è stato ritenuto d'interesse approfondire e studiare nel capitolo 3.2 le influenze della fisica del XVI secolo all'interno dell'opera.
In conclusione verrà descritto il processo di elaborazione e formulazione delle domande di ricerca a cui la presente Tesi cerca di rispondere.

1.1 L'analisi fisica della Commedia di Dante

La Commedia di Dante è un poema estremamente complesso con diverse chiavi di lettura. In quest'opera è evidente l'organicità delle strutture architettoniche ideate da Dante Alighieri ma anche l'avanzato livello di conoscenze nell'ambito delle scienze naturali del poeta (Sparavigna 2016).
Come è stato messo in evidenza da studiosi che hanno trattato il tema dell'architettura dell'inferno dantesco esso è un cratere raffigurabile come un cono che ha come diametro della base il raggio terrestre creato dalla caduta di Lucifero sulla Terra dopo essere stato scaraventato giù dai cieli da Dio stesso.
Questa caduta è stata la causa della creazione della montagna del purgatorio nell'emisfero australe, l'inferno infatti si trova al di sotto della città Santa di Gerusalemme (Vespri 2020).
Autorevoli articoli in letteratura hanno illustrato l'importanza di questa rappresentazione nella cultura medievale e nella vita di Dante Alighieri.
Il baricentro della Terra, a causa della montagna del purgatorio, ha subito uno spostamento di circa 800 km, questo fatto diventa fondamentale per l'attenzione alla scientificità che Dante ha nella stesura del suo poema.
Per le conoscenze medievali questo elemento dimostrava e giustificava infatti l'esi-

stenza delle terre emerse nell'emisfero boreale, il cosiddetto quarto abitabile.
Secondo la fisica aristotelica, infatti, i quattro elementi fondamentali: acqua, terra, aria e fuoco, erano ordinati in quattro sfere concentriche con la Terra al centro, e quindi le acque avrebbero dovuto disporsi uniformemente sul globo terrestre impedendo così l'esistenza di terre emerse. Dante stesso affronta in alcune sue opere questo tema con approccio sia teologico che scientifico, come consuetudine medioevale. È arrivato fino a noi infatti la *Quaestio de aqua et terra*, la cui attribuzione a Dante è stata tuttavia travagliata e tutt'ora oggetto di discussione.
Nel Medioevo era diffusa la pratica delle *quaestiones*. Uno strumento dialettico dalla struttura canonicizzata per affrontare un tema filosofico esponendo le diverse opinioni sulla materia.
Un professore, o comunque un maestro competente di un certo argomento, presentava un tema su cui dibattere e successivamente venivano presentate le argomentazioni a sostegno o avverse alla posizione di riferimento nella fase della *disputatio*.
L'opera di Dante è da ritenersi la *determinatio* in cui il poeta fiorentino esplicita in forma scritta la propria posizione a seguito del dibattito pubblico che si era svolto in forma orale.
La *quaestio* si tenne a Verona il 20 Gennaio 1320 nel sacello di Sant'Elena sotto il regno e il patrocinio di Cangrande della Scala.
Il tema della *quaestio* era la disposizione dei quattro elementi all'interno delle sfere che componevano l'universo aristotelico. L'osservazione che scatena il dibattito è infatti che alcune terre si trovano al di sopra dell'acqua e ciò fece sorgere l'interrogativo sul rapporto in cui stessero la sfera della terra e quella dell'acqua.
Il parmense Antonio Pelacani aveva congetturato che la sfera della terra e quella dell'acqua fossero disposte in un'unica sfera in cui l'acqua riempiva i vuoti lasciati dalla terra.
Questa posizione era all'epoca minoritaria e infatti, nonostante sia l'argomento che Dante intende smontare, l'esule fiorentino non la cita mai esplicitamente ritenendola di scarso valore (Vespri 2021).
Nella tradizione medioevale un'osservazione discordante col modello diffuso non portava a un ripensamento generale del paradigma ma a un raffinamento dei dettagli che lo componevano.
In quest'ottica l'autore della *Quaestio* vuole giustificare come mai la regola secondo cui le terre si trovano al di sotto delle acque sia stata occasionalmente infranta.
Dal punto di vista fisico la causa efficiente dell'emergere delle terre è da ricondursi a una gibbosità della sfera della terra causata dalla *virtus elevans* che le stelle presenti nell'emisfero boreale esercitano come una calamita col ferro (Enciclopedia Dantesca 1970).
La *quaestio* era rivolta ai dotti e per questo è stata scritta in latino. All'interno dell'opera non mancano accenni polemici da parte di Dante nei confronti di alcuni di questi dotti che sarebbero stati assenti alla *disputatio* rinunciando quindi al dibattito sul tema (Vespri 2021).
Ci sono varie ipotesi sul perché Dante scrisse la *quaestio* e l'abbia dedicata a Cangrande della Scala.
Alcuni autori ritengono che la *quaestio* rappresenti il tentativo di Dante di voler ambire a una cattedra presso lo Studio Veronese. Il ruolo di professore avrebbe dato prestigio a Dante e anche una solidità economica che al poeta avrebbe fatto comodo vista la condanna a morte pendente su di lui nella città di Firenze.
Dante però incontrò l'opposizione delle autorità scolastiche veronesi. Queste, non presentandosi, misero in evidenza l'inadeguatezza di Dante al ruolo da lui auspicato

visto anche il suo non essere laureato (Marchi 1964).
Questa pratica di tenere lezioni e dibattiti pubblici per ottenere il favore e cattedre accademiche vedremo si riproporrà, con sorprendentemente somiglianza, anche con lo stesso Galileo.
Per altri studiosi la ragione della *quaestio* va ricercata altrove. Dante veniva contestato dagli accademici in quanto autore dell'Inferno e del Purgatorio. Veniva messa in dubbio la sacralità del poema, se infatti le teorie delle acque di Dante fossero state confutate tutta la Commedia sarebbe stata frutto di ispirazione poetica e non opera divina (Alighieri e Padoan 1968).
Seppure la ragione precisa risulti non del tutto definita, appare evidente l'attenzione e l'importanza che Dante ripone nella verosimiglianza scientifica del suo poema e delle sue architetture.
I primi studi sistematici sugli elementi scientifici presenti nella Commedia risalgono addirittura alla fine del XIX secolo. In queste opere venivano estratti alcuni versi dell'opera dantesca e se ne evidenziavano le considerazioni scientifiche che Dante esprimeva in linguaggio poetico.
Un esempio è la descrizione che il poeta fiorentino racconta nei versi 127-130 dell'Inferno in cui paragona il suo riattivarsi nonostante la propria stanchezza alla reazione dei fiori che dopo il freddo notturno si schiudono col calore del sole all'alba.
In questo e in altri passaggi il poeta metteva in luce una grande conoscenza dei fenomeni naturali e un'attenta osservazione della realtà che poi traduceva in luminosi esempi di creatività poetica (Bottagisio 1894).
Sia questi lavori che analisi più recenti mostrano come i campi scientifici citati da Dante siano molteplici e che tocchino diverse sfere della conoscenza scientifica: la biologia, l'anatomia, l'ottica, la gravitazione e le scienze dell'atmosfera (Sparavigna 2012) (Sparavigna 2016).
Un celebre esempio è quello in cui nel canto XV del Purgatorio ai versi 16-21 Dante esprime in forma poetica la legge della riflessione (Gilson 2000):

"Come quando da l'acqua o da lo specchio
salta lo raggio a l'opposita parte,
salendo su per lo modo parecchio
a quel che scende, e tanto si diparte
dal cader de la pietra in igual tratta,
sì come mostra esperïenza e arte;"

Non è lo scopo della presente Tesi ripercorrere la cronologia degli studi scientifici in merito alla Commedia di Dante ma risulta evidente come questo tema sia molto presente nella cultura dei secoli successivi alla pubblicazione del celebre poema fino ad oggi.
Se gli studi fino ad ora citati vogliono evidenziare la scientificità di Dante, la lettura della Commedia da parte di Galileo nelle Due Lezioni è invece considerabile come più ibrida. Il giovane matematico pisano unisce l'analisi letteraria a quella scientifica anche perché il pubblico dell'Accademia Fiorentina non era fatto di esperti nelle scienze naturali ma si trattava bensì di un uditorio molto variegato e dalla diversa estrazione e formazione (Angelini 2013).
Le Due Lezioni sono però una straordinaria opera di analisi della Commedia e alcuni studiosi ne hanno apprezzato l'importanza storica poiché avvicinano le figure di due grandi protagonisti della storia culturale italiana seppure abbiano vissuto a secoli di distanza e apparentemente ad ambiti del sapere differenti (Fedi 2019).

Una parte significativa delle analisi galileiane presenti nelle Due Lezioni sono rivolte allo studio della forma e delle dimensioni dell'ambiente infernale e dei personaggi che in esso risiedono. All'inizio dell'opera viene esplicitato che questa analisi è legata alla diatriba sulle considerazioni fatte dal Manetti e dal Vellutello e che Galileo aspira a risolverla.
Galileo non fu quindi il primo a studiare la matematica e la geometria dell'Inferno ma probabilmente fu il più celebre e, seppure i testi delle lezioni furono riscoperti secoli dopo, vari studiosi hanno trattato e utilizzato le considerazioni galileiane come punto di partenza per l'analisi della struttura del primo dei tre regni ultramondani (Fedi 2019).
Alcuni stimati autori hanno ritenuto importante studiare questa materia evidenziando come questi lavori sull'architettura di inferno, purgatorio e paradiso possano essere importanti nel comprendere sempre di più e in maniera più completa sia il poema dantesco che la cosmologia durante il Medioevo.
La Commedia rappresenta infatti un grande esempio di cosmologia medievale dove la filosofia aristotelico-tolemaica, che veniva riscoperta e si diffondeva nell'Europa Occidentale in quegli anni, si fonde con la mistica cristiana che permeava la società e la cultura del Basso Medioevo già da secoli.
L'eleganza, il rigore e la coerenza sia scientifica che geometrica diventano quindi uno strumento poetico attraverso il quale il poeta fiorentino media il messaggio della sua opera.
Nei secoli successivi alla pubblicazione della Commedia si diffusero vari modelli per l'architettura infernale e il dibattito non fu di natura esclusivamente letterale e geometrico.
Esistevano infatti anche delle ragioni politiche legate alla provenienza degli studiosi che avevano analizzato l'opera: il Manetti per esempio era fiorentino mentre il Vellutello era originario di Lucca ma residente a Venezia. Era quindi in gioco anche il prestigio delle istituzioni accademiche e politiche a cui questi studiosi erano legati.
Fu per questo che per dirimere la diatriba venne richiesto il parere di un matematico che fosse formato anche nelle lettere in modo da compiere l'analisi su più piani interpretativi e venne quindi incaricato il ventiquattrenne Galileo Galilei (Vespri 2020).
Alcuni studiosi hanno fatto notare che si trattava dunque dell'analisi di un prodotto dell'immaginazione di un autore vissuto più di due secoli prima ma dove veniva richiesto il rigore del calcolo matematico unendo la formazione umanistica a quella matematica in contesto culturale tipico dell'ambiente rinascimentale (Blanco Jimenez 2009).
In questo paragrafo è stato mostrato come molti ricercatori e studiosi sia del passato che contemporanei abbiano voluto mettere in risalto il genio di Dante, la sua abilità e la sua arte nel pensare e descrivere in versi un luogo che non è solo allegorico ma anche plausibile dal punto di vista fisico.
Galileo in questa tradizione di commentatori diventa quindi uno dei più celebri esponenti permettendo di avvicinare due figure così importanti nella cultura e nella storia di molteplici discipline.

1.2 Le due lezioni all'Accademia Fiorentina nel corpus galileiano

Galileo è stato un uomo di scienza molto prolifico. Il suo lavoro ha segnato la cultura scientifica non solo del suo tempo ma anche quella successiva lasciando un segno indelebile nello studio dei fenomeni naturali dal XVI secolo fino ad oggi.
Galileo nacque a Pisa nel 1564, iniziò gli studi di medicina pressò l'Università della sua città a 17 anni per poi abbandonarli a 21 (Peterson 2002).
Negli anni successivi si dedicò allo studio della matematica, in particolare Euclide e Archimede, diede lezioni private di matematica e assistette il padre musicista nel suo lavoro traendo ispirazione per alcuni esperimenti sulle corde in tensione pubblicate nei *"Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze"* (G. Galilei 1638).
Nell'appendice di quest'opera sono inoltre presenti alcuni teoremi sul centro di gravità dei corpi risalenti al periodo giovanile dove è chiara l'influenza archimedea sul giovane pisano. Galileo cominciò quindi a diffondere questi teoremi spinto dal desiderio e dall'ambizioine di entrare nel dibattito scientifico dell'epoca (Peterson 2002).
Il giovane studente pisano trovò il favore di Guidobaldo Del Monte, Ispettore delle Fortificazioni presso il Granduca di Toscana col quale intraprese una fitta e proficua corrispondenza.
Quando la cattedra di matematica presso l'università di Pisa rimase vacante Guidobaldo, o forse l'illustre fratello cardinale Francesco, invitarono Galileo a tenere le due lezioni presso l'Accademia Fiorentina.
Non è chiaro ad oggi come si svolsero gli eventi nel dettaglio e la storiografia sta ancora indagando, è però altamente possibile e condiviso che fu uno dei due fratelli Del Monte a caldeggiare la candidatura di Galileo per tenere le due lezioni sulla struttura dell'inferno (Peterson 2002) (Lévy-Leblond 2022).
Le due lezioni non furono, dunque, soltanto un seminario tenuto da uno studioso di matematica e formato nelle lettere ma ebbero anche la funzione di un vero e proprio colloquio di lavoro (Peterson 2002).
Francesco Del Monte fu un influente uomo di Chiesa e una figura importante nella politica del tempo, è rimasto infatti nella storia anche per essere stato mecenate di uomini di scienza e di artisti tra i quali Michelangelo Merisi da Caravaggio (Stefanini 2008).
Alcuni mesi dopo le lezioni a Galileo fu assegnata la cattedra di Matematica all'Università di Pisa (Peterson 2002).
La formazione di Galileo come uomo delle arti figurative e delle lettere è comprovata da numerosi studi in cui viene studiata la figura di Galileo, il suo rapporto col pittore Lodovico Cardi detto il Cigoli e il suo interesse per le varie forme dell'espressione artistica: pittorica, plastica e letteraria (Panofsky 1956) (Raffin 1992).
Tra gli scritti dello scienziato pisano si trovano infatti le *"Considerazioni al Tasso"* e le *"Postille all'Ariosto"* (G. Galilei 1793) (Favaro 1899) in cui critica e commenta *La Gerusalemme liberata* e *L'Orlando furioso*, poemi pubblicati poche decine di anni prima evidenziando i molteplici interessi di studio del Galilei e il suo interesse per il dibattito culturale a lui contemporaneo.
Come è stato detto in precedenza, le due lezioni si tennero presso il Salone dei Duecento in Palazzo Vecchio a Firenze, sede del governo granducale, tra il 1587 e il 1588 davanti agli accademici dell'Accademia Fiorentina.
L'opera è però pressoché assente nelle raccolte di testi galileiani fino al 1855, anno in cui Ottavio Gigli, scrittore e pedagogo romano, scoprì queste due lezioni presso la biblioteca Rinucciniana di Firenze portandole alla luce dopo secoli di oblio (Man-

rique 2014).
Ottavio Gigli fu il primo a pubblicare le Due Lezioni (Gigli e G. Galilei 1855), fino a quel momento il testo aveva avuto infatti scarsissima diffusione. Galileo d'altronde non era un accademico ma un lettore invitato e quindi le sue lezioni non risultarono negli atti dell'istituto. Questa circostanza fece sì che la diffusione dell'opera fu ristretta a un piccolo numero di accademici senza mai raggiungere il grande pubblico (Manrique 2014).
Le Due Lezioni cominciarono a diffondersi grazie al lavoro di Gigli e all'inclusione delle stesse nell'edizione nazionale dei testi di Galileo Galilei curata da Antonio Favaro che racchiude tutto il corpus delle opere dello scienziato toscano (Favaro 1899).
Tuttavia nelle opere di Gigli e Favaro sono andati purtroppo perduti i disegni, probabilmente fatti da Galileo stesso, che accompagnavano le lezioni (Settle 2001).
È possibile però avere un'indicazione delle loro fattezze osservando alcune tavole del pittore fiammingo Jan van der Straet detto Giovanni Stradano che si era stabilito presso la coorte dei Medici a Firenze (Biagi 1893).
Le tavole vennero prodotte nel 1587 e rappresentano i dannati descritti da Dante nei vari cerchi principalmente secondo l'architettura descritta dal Manetti ma in una singola tavola la geometria è conforme allo studio del Vellutello (Settle 2001).
Nel testo delle Due Lezioni viene detto che Galileo utilizzò e si accompagnò a delle immagini ma non è chiaro se il giovane scienziato pisano abbia effettivamente utilizzato le immagini dello Stradano, anche perché queste raffigurazioni sono contemporanee alle Due Lezioni e non è chiaro quale delle due opere sia successiva all'altra.
Secondo alcuni studi è però plausibile che le immagini e i testi siano correlate poiché sussistono alcune coincidenze dei dettagli e nei numeri ed entrambe rappresentano la visione manettiana (Settle 2001).
Questa ipotesi è sostenuta anche dal fatto che nel 1594, Luigi Alamanni, un intellettuale fiorentino che fu tra i committenti delle illustrazioni della Commedia a Stradano (Brunner e Gizzi 1994), citò Galileo Galilei e le sue lezioni presso l'Accademia Fiorentina in un suo carteggio (Settle 2001).
Dopo la loro travagliata riscoperta le Due Lezioni si diffusero tra gli interessi degli studiosi del corpus galileiano ma spesso venivano apprezzate principalmente nell'ambito dei lavori letterari della notevole bibliografia galileiana trascurando invece l'importanza del contenuto scientifico presente nell'opera (Stefanini 2008).
Alcuni celebri ricercatori all'inizio di questo millennio hanno studiato approfonditamente il contenuto delle Due Lezioni evidenziando come alcune riflessioni e analisi presenti nelle considerazioni sulla struttura dell'Inferno sarebbero stati fondamentali nel pensiero e nelle scoperte che lo scienziato toscano avrebbe diffuso nei secoli successivi.
Il tema principale di questi articoli è la legge del cambiamento di scala, ovvero come varia la relazione tra il volume di un corpo e la sua capacità materiale di resistere alla pressione (Peterson 2002) (Lévy-Leblond 2009) (Lévy-Leblond 2007).
Nelle Due Lezioni Galileo sostiene che il guscio roccioso che ricopre l'antro infernale ha uno spessore sufficiente da non collassare sotto il suo peso poiché la proporzione geometrica è la stessa del fondale marino che sostiene le acque sovrastanti (G. Galilei e Pratesi 2011).
Nei Discorsi e Dimostrazioni, pubblicate circa cinquant'anni dopo, Galileo invece passerà da questo discorso puramente geometrico a uno fisico in cui dimostrerà come aumentando le dimensioni la pressione aumenta e la capacità di resistenza diminuisce (G. Galilei 1638).

Il dettaglio di questa analisi verrà sviluppata nel paragrafo 3.3 della presente Tesi, ciò che in questo momento si vuole evidenziare è come le Due Lezioni abbiano cominciato all'inizio del XXI secolo a diventare un testo oggetto dello studio di numerosi ricercatori in quanto tratta, seppure in una fase embrionale, tematiche che verranno sviluppate dal Galileo maturo.
L'impianto delle argomentazioni galileiane è di stampo aristotelico ed è interessante osservare come nel corso della sua vita e nelle sue opere lo scienziato toscano abbia evoluto il suo approccio e le sue idee (Oliva 2002).
Galileo quindi cambierà idee e teorie nel corso della sua vita e questo ha interrogato molto i ricercatori che si sono chiesti: Galileo era a conoscenza del suo errore? Ha comunque difeso delle teorie sbagliate per opportunità? È responsabile dell'oblio in cui le Due Lezioni sembrano essere cadute dopo il loro svolgimento?
Alcuni autori sostengono che Galileo fosse in buona fede e che si sia reso conto dell'errore già pochi anni dopo aver tenuto le due lezioni.
A supporto di questa tesi viene citato il passo dei Discorsi e Dimostrazioni in cui Sagredo dice *"Io già mi sento rivolgere il cervello, e, quasi nugola dal baleno repentinamente aperta, ingombrarmisi la mente da momentanea ed insolita luce, che da lontano mi accenna e subito confonde ed asconde imaginazioni straniere ed indigeste"* (G. Galilei 1638).
L'analisi però va oltre. Galileo è conscio di aver commesso un grande errore nelle Due Lezioni e che quindi gli si può rivolgere contro mettendo in crisi la sua carriera accademica, al tempo giovane e incerta.
Galileo era inoltre alla ricerca di affermazione e prestigio nell'ambiente culturale fiorentino e questa è una delle ragioni per cui si era apprestato a dirimere la disputa tra il Manetti e il Vellutello.
I dettagli del contesto storico-politico in cui avvenne la disputa verranno illustrati nel paragrafo 2.2 della presente Tesi.
Quello che vuole essere messo in risalto è come il dibattito, scientifco ma anche letterario e artistico, rinascimentale sia fatto di attacchi e controattacchi.
In particolare in un ambiente cortigiano come quello della Firenze di fine '500 le dispute intellettuali avevano anche una natura politica e di potere e quindi Galileo era ben consapevole della portata devastante che un errore simile avrebbe potuto avere per lui.
Fu per questo che Galileo studiò approfonditamente l'argomento fino a produrre una propria nuova teoria ancora più completa, organica e valida.
Gli studiosi si chiedono: come mai questa fu pubblicata solo cinquant'anni dopo, quando Galileo era anziano e a seguito delle sue travagliate vicende personali? A una persona del XXI secolo pò sembrare assurdo, se non addirittura infantile, ma nel Rinascimento era una pratica diffusa al limite del consuetudinario.
Se infatti un seguace del Vellutello avesse mosso obiezioni contro Galileo quest'ultimo avrebbe dovuto rispondere in modo da poter riabilitare la propria posizione.
Nell'opinione pubblica aver commesso un errore non era grave tanto quanto non avere nulla da rispondere a un'obiezione (Peterson 2002).
Nessun artificio retorico sarebbe stato efficace per Galileo in un dibattito quanto una nuova e completa teoria.
Un altro esempio molto celebre di questa dinamica di attacchi e contrattacchi, di teorie mantenute segrete fino al momento del bisogno, o della morte, è quella della formula dell'equazione di terzo grado.
Il bolognese Scipione del Ferro scoprì una formula risolutiva per le equazioni di terzo grado intorno al 1500 ma la soluzione venne pubblicata solo nel 1545 dal matematico

lombardo Gerolamo Cardano a seguito di una vicenda ricca di colpi di scena, litigi, duelli e dispute matematiche (Dunham 1990).
È stato mostrato inoltre che lo stesso Galileo fu già coinvolto in dispute di questo tipo, tenendo segrete importanti scoperte per divulgarle al momento opportuno.
La disputa a cui si fa riferimento verteva sul galleggiamento del ghiaccio. Lo scienziato pisano, seguendo il principio di Archimede, sosteneva che la densità del ghiaccio fosse minore di quella dell'acqua.
La comunità aristotelica riteneva invece che fosse impossibile, essendo più freddo, e che la ragione del galleggiamento andasse ricercata nel fatto che il ghiaccio avesse una superficie ampia e piatta.
Dopo che questa ipotesi venne confutata da Galileo gli aristotelici portarono un'ulteriore prova a sostegno della loro tesi.
Utilizzando un dischetto di ebano e introducendolo delicatamente in acqua esso galleggiava pur essendo effettivamente più denso dell'acqua in cui era immerso.
A quel punto nessuna delle due fazioni aveva raggiunto una completa e soddisfacente comprensione del fenomeno.
Galileo rispose in modo peculiare, sostenendo il principio di Archimede, tramite considerazioni di natura geometrica applicate all'equilibrio meccanico dei corpi, tema che lo ha affascinato per lungo tempo.
La sua risposta non risolve completamente il problema del disco di Ebano, che è legato alla tensione superficiale, ma gli permise di raggiungere uno stallo nella diatriba.
Si evince che l'obiettivo di Galileo non fosse di convincere gli scettici ma di utilizzare le sue conoscenze, tenute fino ad allora segrete, in un'efficace difesa delle sue idee e della sua reputazione.
Tornando al tema delle Due Lezioni, nei Discorsi e Dimostrazioni Galileo, tramite Salviati, sostiene di aver in passato anche lui ritenuto vera l'invarianza di scala ma che fatti ed esperimenti gli hanno fatto cambiare idea.
Galileo non cita mai l'Accademia Fiorentina e le sue Due Lezioni in quanto avrebbe rischiato di essere messo in imbarazzo e addirittura di entrare in conflitto con l'istituzione granducale. Poiché nel 1638 in pochi si sarebbero potuti ricordare dei dettagli delle sue lezioni non era necessario per lui ritirarle fuori (Peterson 2002).
Alcuni illustri autori sono dell'idea che le Due Lezioni fossero addirittura di imbarazzo per Galileo stesso. Infatti il suo primo biografo, Vincenzo Viviani, non le menziona mai e questo lascia intendere che Galileo non gliene abbia mai parlato (Viviani e Flora 1954).
Viviani è un giovane collaboratore del Galileo anziano e che quindi non era nemmeno nato al momento in cui le due lezioni vennero tenute. Questo causò un ulteriore effetto: poiché Viviani divenne la fonte principale dei biografi dello scienziato pisano nelle biografie immediatamente successive alla sua morte questo scritto non venne citato in nessuna di esse.
Poiché la fonte principale del Viviani fu Galileo stesso risulta plausibile che fu proprio quest'ultimo a non parlargliene. Per i sostenitori di questa lettura questo fatto è ancora più strano e incomprensibile se si considera che proprio questo evento fu un momento chiave della carriera del celebre scienziato toscano.
Un'ultima prova a supporto di questa tesi risiede nell'edizione nazionale delle Due Lezioni dove il Favaro menziona una lettera del 7 Agosto 1594 del già citato Luigi Alamanni al poeta Giovan Battista Strozzi che dice *"Circa alla lezzione del Galileo, egli è a Padova... e non l'ho potuta avere da lui; e consisteva in questo, che riferiva l'opinione circa il sito dell'Inferno di Dante, che lasciò scritta Antonio Ma-*

netti fiorentino in un libretto stampato da'Giunti, e di poi riferiva l'opinione sopra 'l medesimo del Vellutello, commentatore di Dante, e comparandole l'una con l'altra, mostrava essere migliore quella del Manetto" (Favaro 1899) (Barbi 1890).
Viene manifestato quasi una sorta di ostruzionismo da parte di Galileo alla diffusione del suo intervento presso l'Accademia Fiorentina.
In letteratura si trovano studi che offrono anche una diversa interpretazione dei fatti e delle motivazioni del silenzio di Galileo.
Questi sostengono che i motivi della reticenza di Galileo non sono da ricercare nel suo desiderare di conservare un'ulteriore risposta nel caso di un dibattito ma nella volontà di non esacerbare le tensioni con le autorità ecclesiastiche già divampate a seguito delle teorie astronomiche.
L'inferno non è solo un luogo letterario ma è coinvolto in questioni morali sulle quali si fonda il prestigio e l'autorità della Chiesa.
Andare quindi a negare la fisicità di questo luogo sarebbe potuto diventare un attacco a quelle istituzioni col quale lo scienziato era già in conflitto (Pesic 2002).
L'immaginario dantesco, e quindi anche quello del Manetti che Galileo difende, è fortemente tolemaico. La Terra è al centro dell'universo e al suo centro è presente Lucifero che Galileo stesso definisce *"Nel centro del mondo"* (G. Galilei e Pratesi 2011).
Alcuni illustri studiosi ritengono che la visione del Manetti fosse non solo letteraria ma reale e si chiedono se lo fosse anche per il giovane pisano. Gli stessi autori si interrogano se fosse un dibattito, definendolo rozzo, sulla sostenibilità fisica di una costruzione poetica oppure Galileo abbia dovuto modificare le proprie convinzioni in pubblico per opportunità personale e politica (Pesic 2002).
Nè in questo capitolo nè nel resto della presente Tesi si vorrà sciogliere questo dubbio riguardo alle intenzioni dietro le affermazioni fatte da Galileo; si vuole però mettere in luce come questa opera sia diventata oggetto di studio di vari ricercatori e di come questo testo abbia mostrato gli embrioni di temi e argomentazioni che lo scienziato toscano svilupperà nel corso della sua prodigiosa carriera.
Le Due Lezioni sono ulteriormente importanti perché mostrano alcune scelte comunicative e pedagogiche che caratterizzeranno Galileo per tutta la sua opera e i suoi lavori.
Il primo elemento è la scelta del volgare. L'opera è chiaramente destinata a un pubblico vario e non strettamente competente nelle scienze naturali o nelle lettere ed è quindi importante che la comunicazione sia la più efficace possibile.
Questa necessità diventerà un tratto distintivo di Galileo che pubblicherà la maggior parte della sua bibliografia in volgare. Gli esempi forse più noti della sua produzione volgare sono il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* del 1632 e i *Discorsi e Dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali* del 1638.
In alcuni articoli presenti in letteratura viene sostenuto che questa scelta non è solo di natura politica ma è anche lo strumento per raggiungere un pubblico maggiore e poter divulgare sempre più le proprie idee.
Il volgare non è più un idioma secondario al latino dei dotti ma, essendo la lingua comunemente utilizzata, diventa per Galileo la lingua con cui la materia di cui parla, le scienze naturali e la fisica in particolare, viene pensata e con cui deve quindi essere espressa e comunicata divenendo la lingua della cultura alta del suo tempo (Lévy-Leblond 2022).
Il latino viene ridotto a un gergo tecnico solo per addetti ai lavori e non sostenibile per un pubblico più ampio e generalista.

Le Due Lezioni introducono questo stilema, anche forzatamente, e infatti Galileo si deve scusare col pubblico: *"Ma prima che più avanti passiamo, non sia grave alle vostre purgate orecchie, assuefatte a sentir sempre risonar questo luogo di quelle scelte ed ornate parole che la pura lingua toscana ne porge, perdonarci se tal ora si sentiranno offese da qualche voce o termine proprio dell'arte di cui ci serviremo, tratto o dalla greca o da la latina lingua, poi che a così fare la materia di cui parleremo ci costringe."* (G. Galilei e Pratesi 2011).
Alcuni autori evidenziano come l'utilizzo del volgare non sia semplicemente una scelta comunicativa o di opportunità ma lo strumento con cui Galileo sceglie di inscrivere il suo lavoro all'interno della cultura della società del suo tempo.
In Italia il già citato Guidobaldo del Monte aveva pubblicato nel 1585 un trattato di meccanica sia in latino che in volgare e questa lingua permette a Galileo di utilizzare uno degli artifici retorici che utilizzerà in tutta la sua carriera e produzione letteraria: l'ironia (Lévy-Leblond 2022).
Questo strumento in particolare permette di avvicinarsi al suo pubblico e di aumentare la sua efficacia comunicativa, l'esempio più evidente è già nell'incipit dell'opera: *"Se è stata cosa difficile e mirabile .... l'aver potuto gli uomini per lunghe osservazioni, con vigilie continue, per perigliose navigazioni, misurare e determinare gl'intervalli de i cieli, i moti veloci ed i tardi e le loro proporzioni, le grandezze delle stelle, non meno delle vicine che delle lontane ancora, i siti della terra e de i mari, cose che, o in tutto o nella maggior parte, sotto il senso ci caggiono; quanto più maravigliosa deviamo noi stimare l'investigazione e descrizione del sito e figura dell'Inferno, il quale, sepolto nelle viscere della terra, nascoso a tutti i sensi, è da nessuno per niuna esperienza conosciuto; dove, se bene è facile il discendere, è però tanto difficile l'uscirne, come bene c'insegna il nostro Poeta"* (G. Galilei e Pratesi 2011).
Il presente paragrafo ha avuto l'intento di mostrare come le Due Lezioni abbiano acquisito nel tempo un ruolo sempre più importante nello studio della produzione Galileiana, aprendo a interpretazioni e letture degli eventi anche discordanti ma molto interessanti e discusse permettendo di conoscere e approfondire sempre più sfaccettature della figura di Galileo.
Rimane indubitabile come questo scritto, seppur giovanile, permetta di approfondire la conoscenza del suo autore e di fornire maggiore capacità e profondità di analisi anche delle opere più mature dello stesso scienziato pisano per poter attingere appieno dalle sue scoperte e innovazioni.

1.3 Galileo come lettore di Dante

Un'ulteriore chiave di analisi presente in letteratura delle Due Lezioni è quella dello studio del Galileo critico letterario.
È una corrente meno diffusa in letteratura ma che è meritevole di essere menzionata e che può fornire una più completa visione della letteratura accademica prodotta dallo studio delle Due Lezioni.
Recenti ed autorevoli studi hanno approfondito la relazione tra Dante e la scienza tratteggiando una linea tra il poeta toscano e la rivoluzione introdotta in ambito percettivo, psichico e cognitivo dalla meccanica quantistica e dalla fisica delle particelle all'inizio del XX secolo (Maletta 2021).
Alcuni autori hanno letto in queste lezioni il momento in cui le scienze naturali e le arti intraprendono due strade separate, in maniera irriconciliabile.

Viene evidenziato da alcuni studiosi come la lettura geometrica da parte di uno scienziato del poema di Dante sia l'origine di un distacco nella cultura occidentale tra abilità sensorie primarie e secondarie.
L'immaginazione poetica si distacca dall'astrazione scientifica e mai più si sarebbero riconnesse.
Nelle sue due lezioni è evidente l'importanza della formazione letteraria di Galileo. e molto importante la sua stima per l'Ariosto, la chiarezza e la sobrietà della sua prosa nell'*Orlando furioso*.
Il giovane Galileo divenne un intenso partecipante ai dibattiti culturali dell'epoca in particolare quelli riguardanti il manierismo pittorico e la poesia allegorica. Queste informazioni biografiche mettono in risalto la sensibilità artistica, in tutte le sue forme, del giovane pisano.
Alcuni studiosi hanno collegato Galileo alla figura di Leonardo da Vinci rispetto al dibattito sul primato tra arte pittorica e scultura. Il senso visivo, il simbolo che ha bisogno del discernimento dell'osservatore hanno, per entrambi, il primato sulla capacità mimetica dell'arte plastica.
È nelle Due Lezioni che, secondo autorevoli studi, inizia l'operazione da parte di Galileo di spogliare gli eventi per ricercare quell'essenziale geometrico che unisce tutti i fenomeni, spogliandoli della loro personalizzazione.
Per alcuni la lettura di Galileo è fredda ed elimina le sfaccettature che rendono la Commedia un poema affascinante.
Il viaggio interiore di Dante, ricco di allegorie e di mutevoli descrizioni del variegato animo umano viene razionalizzato e ridotto a un freddo diario di viaggio da parte di Galileo (Grünbein 2003).
Nelle Due Lezioni traspare con grande evidenza come Galileo sia un profondo conoscitore e stimatore dell'opera dantesca, infatti non mancano continui attestati di rispetto e lode nei confronti del poeta trecentesco e della sua opera.
Galileo, nella sua analisi, introduce un nuovo elemento nella critica letteraria: la plausibilità scientifica. Il giovane scienziato toscano loda la maestosa visione architettonica di Dante tanto da non dubitare mai della rigorosa progettualità dei luoghi in cui è ambientata l'opera.
Se in questa opera Galileo appare come un uomo con una formazione figlia della tradizione medievale che coniuga una rigorosa cultura letteraria e filosofica con quella fisica e matematica egli è anche un innovatore nell'introdurre il rigore fisico e geometrico nell'analisi di uno straordinario poema come la Commedia.
Questo paragrafo vuole mettere in evidenzia come dallo studio delle Due Lezioni sia stato possibile analizzare lo stile della critica letteraria di Galileo evidenziandone la formazione artistica e i i molteplici campi di interesse attribuendo alle Due Lezioni un ruolo fondamentale nella cultura occidentale.

1.4 Galileo matematico della sua epoca

Nell'ultimo paragrafo del primo capitolo si vuole introdurre la tipologia di ricerca da cui prende spunto la presente Tesi: Galileo come matematico e uomo di scienza della sua epoca.
L'articolo da cui è stata presa principalmente ispirazione è della ricercatrice Maruxa Armijo Canto (Armijo Canto 1998).
In questo articolo l'autrice si pone come obiettivo quello di contestualizzare gli strumenti matematici usati da Galileo durante le Due Lezioni e di approfondire le origini

della sua formazione matematica.
Armijo Canto ritiene che Galileo sia il primo a introdurre un nuovo elemento assente nei commentari medievali e rinascimentali della Commedia di Dante: la matematica. Dante, secondo Galileo, è un fine matematico ed è per questo che compie le sue valutazioni rispetto alla geometria dell'Inferno a seguito dell'assunto che la descrizione dello stesso sia plausibile fisicamente.
Galileo all'inzio delle Due Lezioni cerca ispirazione e guida per la sua analisi nella cultura classica accorrendo all'esempio di figure come Euclide e, soprattutto, Archimede.
Alcuni studiosi ritengono che in tutta l'opera Galileo stia compiendo lo sforzo di estendere gli studi e gli strumenti della matematica ad altri campi della cultura fino ad allora ritenuti scollegati.
Armijo Canto dichiara che l'intento del suo articolo sia quello di mostrare come la scuola di Archimede e le scuole commerciali abbiano fatto parte della storia della matematica nonostante la prima fosse mal studiata e la seconda mal vista negli ambiti accademici.
I due riferimenti principali nello studio della matematica nel Medioevo furono due autori greci che vennero riscoperti proprio in quell'epoca: Euclide e Archimede. Nei fatti però l'opera di Euclide in particolare i suoi *Elementi*, ebbe maggior diffusione rispetto all'opera di Archimede che rimase comunque poco conosciuto.
Uno degli aspetti che influirono a questa disparità fu che nel Medioevo l'approccio dissertativo fosse preferito a quello pratico nello studio della matematica. Euclide venne infatti apprezzato principalmente per i suoi contributi alla logica e alla filosofia piuttosto che alla matematica. Alla geometria euclidea venne però riconosciuto il ruolo di scienza paradigmatica grazie alla forza dimostrativa delle sue conclusioni e all'eleganza delle sue dimostrazioni.
Archimede ebbe invece peggior sorte, egli infatti non fondò una scuola, al contrario di Euclide, e non venne riscoperto e diffuso definitivamente fino all'arrivo e all'opera di Galileo, Torricelli e Fermat.
Un'altra ragione che è stata individuata in letteratura tra le motivazioni di questa scarsa diffusione fu l'incompletezza delle traduzioni dal greco all'arabo e conseguentemente al latino. Nel mondo accademico medievale, e fino al XVI secolo, studiare geometria voleva perciò dire studiare Euclide (Armijo Canto 1998).
La produzione orale dei discepoli di Archimede in realtà è ricca di risultati, gli archimedei però non ritennero di produrre un'opera scritta complessiva delle loro scoperte. Secondo alcuni autorevoli studi immediatamente dopo una delle sue epoche più fiorenti, quella greca, la matematica subì una crisi nell'Alto Medioevo anche a causa della scarsa diffusione dei testi dei grandi autori classici come Tolomeo, Euclide e Archimede. Gli stessi studiosi però riconoscono che questa è una risposta parziale vista l'ampia diffusione della filosofia classica nel Medioevo anche se la letteratura aveva, anche in quell'ambito, una diffusione limitata.
Tuttavia quando nel XII e XIII secolo si diffusero in Europa Occidentale le traduzioni latine dei classici greci, i testi di filosofia riscossero un successo e una diffusione molto maggiore dei testi di matematica (Bourbaki 1972).
Nel XII secolo vennero tradotti in latino i tredici libri degli Elementi di Euclide da parte di Adelardo di Bath e i tredici dell'Almagesto di Tolomeo grazie a Gerardo da Cremona.
Ulteriori studi evidenziano come nell'uomo medievale fosse pressoché assente l'esigenza di un progresso matematico e che quindi la lettura dei matematici classici non abbia raggiunto un elevato grado di approfondimento fino all'arrivo di Galileo

e Keplero (Molland 1994).
Mentre i classici della letteratura e della filosofia greca vennero pubblicati in Italia prima del 1520, l'opera del matematico siracusano venne pubblicata a Basilea soltanto nel 1544 da Thomas Gechauff noto come Venatorius.
Una nuova riscoperta e grande rivalutazione della matematica greca avvenne nei ducati italiani nel Rinascimento. Presso i duchi di Montefeltro a Urbino lavorò Francesco Commandino che nel 1588 pubblicò a Venezia la sua edizione di alcuni dei più celebri trattati di matematica della Grecia classica.
I gravi problemi logistici di trasporto e conservazione dei libri, l'inesistenza di un circuito di distribuzione e il ristretto numero di lettori di questi libri fecero sì che la diffusione dei testi matematici antichi fosse limitata ad alcune città e a pochi personaggi (Armijo Canto 1998).
Galileo al momento di tenere le Due Lezioni era già un esperto e profondo conoscitore degli scritti di Archimede. Lo studio dell'opera dello scienziato siracusano lo aveva infatti portato alcuni anni prima alla pubblicazione de *"La Bilancetta"* (Favaro 1890).
La bilancetta è infatti uno strumento inventato dal giovane pisano per misurare la densità di piccoli oggetti, ispirandosi al racconto di Archimede e della corona del re Erone che smascherò l'orafo fraudolento poiché la densità della sua corona era diversa da quella dell'oro.
Galileo all'interno delle Due Lezioni si rivolge ad Archimede con grande ammirazione; si riferisce a lui con gli appellativi di "maestro" e "guida" e lo qualifica come la mente più grande mai esistita, sovrumana e "divina".
Alcuni studiosi hanno fatto notare come il contrasto di Galileo coi peripatetici non sorse di fronte all'importanza dell'esperimento, che anche i seguaci di Aristotele condividevano, ma piuttosto la rilevanza del rigore della matematica nella descrizione dei fenomeni che veniva spesso ritenuta futile e irrilevante.
In letteratura viene messa in evidenza la scelta di Galileo di esercitare la sua intelligenza, debordante e polemica, davanti all'Accademia Fiorentina tramite il rigore matematico e di usare i numeri e la perfezione della scienza come strumento di conoscenza della verità.
Nelle sue opere di maturità il Galilei rifiutò la giocoleria numerica dei neoplatonici e ritenne che solo la scienza matematica avrebbe potuto condurre a una conoscenza vera e profonda della realtà.
Per Galileo la matematica è il linguaggio divino con cui è stato scritto il mondo, questa visione lo porterà a contrasti con l'istituzione ecclesiastica, e questo pensiero viene introdotto già nelle Due Lezioni (Armijo Canto 1998).
Nei conti che svolge all'interno delle Due Lezioni, Galileo cita il trattato *"Della sfera e del cilindro"* di Archimede evidenziando la profonda stima per l'antico matematico e al contempo manifestando una grande erudizione di fronte al proprio pubblico. Le ragioni di questa ricercatezza di esposizione sono state argomentate in precedenza ma sicuramente evidenziano un interesse del giovane pisano per lo scienziato siracusano (Lévy-Leblond 2022).
Nei diciotto secoli che intercorrono tra Archimede e Galileo la matematica non aveva fatto passi in avanti significativi, alcuni studiosi giustificano questo fenomeno col fatto che le arti del *quadrivium* fossero spesso subordinate nella formazione degli individui nel Medioevo a quelle del *trivium*: dialettica, grammatica e retorica (Armijo Canto 1998).
Uno dei presupposti di alcuni articoli presenti in letteratura è la convinzione che la cultura e il commercio siano collegati e che la mercatura abbia avuto un ruolo nella

storia della scienza e del progresso.
Se da un lato nel Basso Medioevo nacquero le università, che avevano come lingua istituzionale il latino e si basavano sugli studi aristotelici, anche altre forme di formazione e istruzione vennero alla luce nello stesso periodo.
Queste nuove scuole erano dirette dai cosiddetti *maestri d'abbaco* dal nome del libro di Fibonacci in cui veniva introdotto il calcolo coi numeri indo-arabi in Europa Occidentale: *Liber Abbaci* (Fibonacci e Boncompagni 2020).
In queste scuole venivano insegnate l'algebra e gli elementi indispensabili della matematica pratica. Questo tipo di istruzione era diverso da quello universitario dove venivano insegnate le arti del *quadrivium*: geometria, aritmetica, musica e astronomia.
La matematica si diffuse sempre più al di fuori delle università, in particolare, il libro di Fibonacci divenne uno strumento sempre più inserito nella società italiana all'interno della quale stava avvenendo una rivoluzione economica trainata dalle attività mercantili.
A Pisa, Genova, Milano, Venezia e Firenze i maestri d'abbaco insegnavano ai figli dei mercanti i rudimenti del calcolo algebrico e l'utilizzo delle cifre arabe in modo da formare le nuove generazioni in questa giovane e rampante società commerciale.
Il matematico arabo al-Khwarismi fu il primo a scrivere un trattato sui numeri indo-arabi. Egli chiamò l'incognita delle equazioni *shay* (o *jadir*) che sono termini traducibili coi vocaboli latini *res* (*radix*) e quindi nell'italiano, sia rinascimentale che odierno, *cosa* e *radice*.
Da qui l'algebra diverrà comunemente nota in Italia e nell'Europa cristiana come: *l'arte della cosa*.
Mentre le forme base dei numeri provenivano dall'Oriente gli studi più avanzati nell'algebra e nelle sue applicazioni si diffusero in Italia.
I vari metodi ideati dagli abbacisti erano alquanto diffusi e consolidati nel nella cultura italiana del XVI secolo. Tra i più noti risultano: la moltiplicazione per campana, per coppa, in croce (Armijo Canto 1998).
I maestri dell'arte della cosa erano interessati principalmente a risolvere le equazioni che regolavano i problemi pratici e, oltre ai metodi per calcolare, i libri d'abbacci contenevano un elevato numero di problemi, suddivisibili in tre categorie: commerciali, ricreativi e di geometria pratica (Van Egmond 1994).
Galileo nelle sue Due Lezioni fa uso di alcuni degli strumenti delle scuole d'abbaco, l'intero dibattito può essere considerato uno dei problemi diffusi nei libri d'abbaci.
In particolare nelle Due Lezioni viene utilizzata la cosiddetta regola dei tre o regola d'oro. Un altro metodo molto diffuso, e anche questo viene usato da Galileo, è quello della falsa posizione.
Il problema specifico è relativo alle misure della Giudecca. La Giudecca è l'ultima delle quattro sezioni in cui è diviso il nono cerchio dell'Inferno dantesco dove risiedono i traditori dei propri benefattori.
Il problema matematico che si pone davanti a Galileo è, in sintesi, di trovare il quarto elemento di una proporzione di cui sono noti gli altri tre termini.
Alcuni ricercatori evidenziano la similitudine tra i libri d'abbaci e la presentazione di Galileo, il problema infatti è soprattutto retorico e quasi mai simbolico. Le equazioni e le operazioni vengono parafrasate e descritte tramite la parola e il testo (Armijo Canto 1998).
L'unica semplificazione era l'utilizzo di abbreviazioni, come scrivere "cu" al posto di "cubo", piuttosto che l'utilizzo di simboli i quali nacquero nel XV secolo ma si generalizzarono solo nel XVII secolo.

I dettagli dei conti compiuti da Galileo a cui abbiamo brevemente accennato verranno presentati in dettaglio nel capitolo 3 della presente Tesi.
Molteplici illustri studiosi condividono l'idea che il progresso matematico nel XVI secolo ebbe luogo per vie informali al di fuori delle università e dei circoli accademici (Armijo Canto 1998) (Van Egmond 1994).
Galileo ne è un esempio. Egli occupa infatti per venti anni cattedre universitarie a Pisa e Padova ma la sua maturità scientifica avviene quando si trasferisce a Firenze e cessa di essere un cattedratico e può dedicarsi a tempo pieno ai suoi esperimenti e le sue osservazioni.
Tutto ciò avviene grazie alla tranquillità economica fornita dal supporto della coorte dei Medici a Firenze, Cosimo II infatti il 10 Luglio 1610 lo nomina: *"sopraordinario matematico dello Studio di Pisa, e filosofo e matematico primario del serenssimo gran duque di Toscana con provisione e stipendio di mille scudi, moneta fiorentina per ciascun anno, senza obbligo di abitare in Pisa né di leggervi se non onorariamente"* (Armijo Canto 1998).
Concluderei citando lo storico Charles B Schmitt (Schmitt 1969): *"In the first of these Galileo attempts to determine certain physical characteristics of Dante's Inferno, but rather than basing his estimates on observation and experience, he realizes that a different approach is necessary. [...] The method to be used again turns out to be that of Archimedes. [...] The whole approach to this problem is mathematical and one might observe that, not only is 'the book of nature' written in mathematical terms, but, in this case at least, the 'book of the supernatural' is as well"*.
Questo paragrafo della presente Tesi ha voluto quindi introdurre l'approccio con cui verrà svolta l'analisi del testo galileiano. Si vuole mostrare come Galileo, sin da una delle sue prime opere, non fosse un uomo avulso dal suo contesto culturale o che lo rigettasse ma che lo fa suo, ne esplora i limiti e successivamente li supererà. In particolare per quel che concerne quella che oggi chiamiamo fisica.

1.5 La formulazione delle domande di ricerca

La presente Tesi nasce dall'intuizione di un confronto tra le Due Lezioni e i Discorsi e Dimostrazioni nella produzione scientifica di Galileo, in particolare sul tema della statica.
La ricerca di fonti e di letteratura scientifica in materia è stata svolta tramite il sistema bibliotecario dell'Ateneo di Bologna, quello dell'Università degli Studi di Firenze, la biblioteca e l'archivio della Società Dantesca Italiana e la biblioteca del museo Galileo di Firenze.
La lettura e l'analisi delle fonti illustrate nel presente capitolo ha portato alla formulazione di una domanda di ricerca generale: Quali sono le influenze della fisica contemporanea a Galileo nelle Due Lezioni?
Si è quindi proceduto all'analisi del contesto in cui le Due Lezioni sono inserite e che presenteremo nel paragrafo 2 al fine di rileggere l'opera con particolare attenzione a cogliere le influenze della cultura scientifica nell'ambito della geodesia, delle unità di misura e della statica.
Proseguendo quindi il lavoro di lettura delle Due Lezioni e di raccolta di ulteriore letteratura siamo arrivati alla formulazioni domande di ricerca a cui auspichiamo di rispondere nella presente Tesi:

1. In che senso Galileo Galilei può essere visto come un esempio di umanista rinascimentale?
2. Le Due Lezioni possono essere considerate un passo iniziale del percorso di maturazione scientifica di Galileo?
3. Che informazioni ci danno le Due Lezioni sulle abilità comunicative di Galileo?

Nei prossimi capitoli si evidenzieranno elementi che permetteranno di costruire risposte articolate a tali domande, le quali verranno riprese e illustrate nelle conclusioni.

Capitolo 2

Il contesto delle Due Lezioni

In questo paragrafo verranno messi in luce i dettagli degli aspetti di contorno alla pubblicazione delle Due Lezioni. Verranno trattate la biografia di Galileo, in forma non esaustiva ma che sia efficace nel presentare la figura dello scienziato toscano.
Verrà illustrato il dibattito presente a Firenze riguardo alla struttura e la forma dell'Inferno di Dante e al coinvolgimento di numerosi studiosi nei secoli successivi alla pubblicazione del poema. Infine verrà messo in luce quale fosse lo stato dell'arte nella ricerca scientifica alla fine del '500 in particolare nelle aree della geodesia, delle unità di misura e della statica.

2.1 La biografia di Galileo Galilei

Galileo Galilei nacque il 15 Febbraio 1563 a Pisa. Sua madre era Giulia Ammannati e il padre era Vincenzo di Michelangelo Galilei, entrambi esponenti della media borghesia toscana (Festa 2012).
Vincenzo Galilei era un celebre liutista del suo tempo e un illustre studioso della teoria della musica e della matematica ad essa legata. Nel 1581 pubblicò infatti un celebre trattato su questi argomenti dal titolo: *Dialogo della musica antica e della moderna* (V. Galilei 1581).
In gioventù Galileo si formò nello studio della musica, della letteratura latina classica e quella italiana a lui contemporanea nonostante i genitori non potessero garantirgli una formazione di eccellenza vista anche la numerosità della famiglia; Galileo era infatti il primo di sette fratelli (Viviani e Flora 1954).
Le informazioni riguardo alla gioventù di Galileo sono scarse anche perché lo scienziato stesso ricordava malvolentieri quel periodo. Per questo motivo i biografi suoi contemporanei, in particolare il Viviani, non ci forniscono numerose informazioni riguardo a questo periodo.
Nella famiglia Galilei la situazione economica fu sempre incerta, dei sei fratelli di Galileo tre erano femmine e questo poneva sin dalla loro nascita il problema della dote al fine di garantire loro un matrimonio consono alle convenzioni del tempo.
Il padre era sì un celebre musicista ma questo non gli aveva mai permesso di raggiungere la stabilità economica desiderata, dovette quindi dedicarsi al commercio senza però diventare mai ricco.
Con la morte del padre Vincenzo nel 1591 fu il primogenito Galileo a doversi prendere carico degli oneri del capofamiglia e quindi anche del mantenimento economico dei suoi parenti.
Nel 1574 la famiglia Galilei si trasferì a Firenze e Galileo fu inviato al monastero

camaldolese di Santa Maria di Vallombrosa dove si dedicò allo studio della logica, del latino e ai rudimenti del greco.
Lo studio di queste due lingue costituiva infatti lo strumento fondamentale per accedere alla cultura ufficiale del tempo; in particolare allo studio dei grandi pensatori antichi. Primo tra tutti vi era Aristotele (Festa 2012).
Divenne molto erudito nello studio della letteratura latina e fu un appassionato lettore e studioso dell'*Orlando Furioso* di Ludovico Ariosto e della *Gerusalemme Liberata* di Torquato Tasso (Panofsky 1956).
Come già ricordato in precedenza nel paragrafo 1.2, di queste due opere Galileo scrisse alcuni commenti e partecipò a dibattiti pubblici in cui i due poemi venivano criticati e commentati.
Al contempo il Viviani racconta di un giovanile interesse di Galileo per la meccanica pratica: *"già ne' prim'anni della sua fanciullezza nell'ore di spasso esercitavasi per lo più in fabbricarsi di propria mano vari strumenti e machinette, con imitare e porre in piccol modello ciò che vedeva d'artifizioso, come di molini, galere, et anco d'ogni altra machina ben volgare"* (Viviani e Flora 1954).
Nonostante ciò il padre Vincenzo decise di avviare Galileo allo studio della medicina. Tra le ragioni di questa scelta è plausibile l'influenza in famiglia di un illustre antenato omonimo di Galileo che aveva svolto questo mestiere ma anche il fatto che fosse una professione ben retribuita, condizione fondamentale viste le insicurezze economiche della famiglia (Festa 2012).
Nel 1581, all'età di 17 anni, Galileo si iscrisse come studente di medicina all'Università di Pisa che all'epoca era una delle più importanti in Italia.
Il Viviani racconta che nel 1583, a Firenze, Galileo incontrò Ostilio Ricci. Il Ricci era un insegnante di matematica e poco dopo l'incontro con Galileo si espose con Vincenzo Galilei per sostenere l'eccezionalità del talento scientifico del giovane Galileo e invitò il padre a sostenerlo nel proseguimento degli studi di questo ambito (Viviani e Flora 1954).
Secondo altri studiosi l'incontro col Ricci avvenne a Pisa e la frequentazione delle sue lezioni fu la causa del progressivo abbandono degli studi di medicina da parte di Galileo.
Quel che è certo è che Ricci fu il primo maestro di Galileo e che quest'ultimo tornò a Firenze, senza laurea, nel 1585.
Nel suo periodo pisano Galileo approfondì le opere di Platone, Aristotele, Euclide ed Archimede e nel 1586 il giovane studente progettò un nuovo strumento: una bilancetta idrostatica per misurare il peso specifico dei materiale.
Di questo periodo sono alcuni teoremi di geometria solida che circolarono manoscritti negli ambienti culturali del tempo e che permisero a Galileo di entrare in contatto con importanti figure come il già citato Guidobaldo del Monte e il padre gesuita Cristoforo Clavio.
Dopo un fallito tentativo di ottenere la cattedra di Astronomia all'Università di Bologna, nel 1589 Galileo ottenne la cattedra di Matematica all'Università di Pisa (Festa 2012).
Intorno al 1590 Galileo pubblicò il *De Motu*, la sua prima opera in cui studia il moto dei corpi. In questa opera Galileo cita anche il *De Revolutionibus orbium caelestium* pubblicato da Niccolò Copernico nel 1543 a Norimberga (Copernicus et al. 1873).
Galileo tuttavia in questa opera continua a collocare la Terra nella parte più bassa dell'universo laddove la tradizione diceva che Dio l'avesse collocata.
Nel settembre del 1592 Galileo si trasferì allo Studio di Padova dopo aver ricevuto l'assenso del Doge di Venezia. Tra le ragioni del suo trasferimento sicuramente ci

furono la maggior importanza dello studio della matematica nell'istituto veneto e il sensibile aumento di stipendio. Fatto che divenne ancora più rilevante dopo la morte del padre avvenuta nel 1591 (Festa 2012).
Il biografo Niccolò Gherardini, contemporaneo di Galileo, sostiene che la ragione principale del trasferimento dello scienziato fu invece una controversia nei confronti di Giovanni de' Medici, fratello del granduca di Toscana Ferdinando, riguardo alcuni strumenti meccanici progettati del nobile fiorentino e severamente criticati dallo scienziato (Tozzetti 1780).
Galileo proseguì le sue ricerche fisiche e raccolse tutti i suoi studi di meccanica nell'opera *Le mecaniche* (G. Galilei 2002) che circolò manoscritta tra il 1593 e il 1602 per poi venire pubblicata solo nel 1649.
Grazie allo studio su argani, pulegge e altre macchine Galileo introdusse in quest'opera le definizioni di *gravità*, *centro di gravità* e *movimento di gravi* (Bonechi 2008).
Negli anni padovani le sorelle di Galileo si sposarono e questo fece sì che Galileo dovette sopperire alle loro doti rendendo la sua situazione economica ancor più precaria.
Per aumentare le proprie entrate Galileo cominciò ad accostare al suo impegno di professore quello di costruttore di macchine e di insegnante privato creando così una cerchia ristretta e intima di alunni. A questo periodo risale inoltre l'invenzione del compasso geometrico e militare che si diffuse in tutta Europa e fu al centro anche di un processo per plagio.
È in questo momento della sua vita e in particolare in alcune lettere risalenti al 1597 destinate a Jacopo Mazzoni e a Giovanni Keplero che Galileo fa per la prima volta esplicito riferimento alla sua adesione alla teoria eliocentrica copernicana. Nonostante ciò nel 1605 pubblica il *Trattato della Sfera ovvero cosmografia* dove difende le teorie aristoteliche, vista anche la destinazione all'insegnamento di quest'opera.
Le cause di questa diversa posizione pubblica e privata da parte di Galileo possono essere ricercate nell'incertezza della sua posizione economica e lavorativa, il rischio di scherno e la non completa sicurezza della veridicità della teoria copernicana (Festa 2012).
Un grande cambiamento si ebbe nel 1609 quando si diffuse in Europa una nuova invenzione: il cannocchiale. Galileo non ne fu l'inventore ma si costruì autonomamente un proprio esemplare e colse il potere scientifico di questo nuovo strumento. Non lo utilizzò infatti con scopi militare o di intrattenimento ma lo puntò verso il cielo per poter studiare con metodo, e con una precisione fino a quel momento inarrivabile, gli oggetti in esso situati (Bonechi 2008).
Il 24 Agosto Galileo presentò davanti al Doge di Venezia Leonardo Donato e ai senatori riuniti in seduta plenaria la sua versione del cannocchiale evidenziandone la superiorità rispetto ai modelli olandesi.
Galileo divenne così una figura celebre e venne quindi confermato a vita alla cattedra di Matematica dello Studio di Padova e il suo stipendio venne raddoppiato. Al contempo non avrebbe potuto avere aumenti di retribuzione in futuro e il contratto sarebbe entrato in vigore solo alla scadenza del contratto in essere (Festa 2012).
Le scoperte astronomiche fatte grazie al nuovo strumento diedero frutto nel Marzo 1610 quando Galileo pubblicò a Venezia il *Sidereus Nuncius*. L'opera era un trattato di astronomia scritto in latino e dedicato a Cosimo II de' Medici.
Tra le principali scoperte esposte nell'opera ci furono quella della superficie non perfetta, ma ricca di crateri, della Luna e quella delle lune di Giove che Galileo dedicò ai granduchi di Toscana chiamandoli pianeti medicei. Queste scoperte misero in crisi il concetto di perfezione aristotelica dei cieli causando contrasti con gli intellettuali

dell'epoca, tra i più celebri ci fu il caso del collega Cesare Cremonini che si rifiutò di utilizzare il cannocchiale di Galileo per scrutare il cielo (Bonechi 2008).
Nelle estati precedenti al 1610 Galileo era spesso tornato a Firenze e impartiva lezioni private ai nobili del Granducato. La dedica della sua opera e la denominazione di *Medicea Sidera* delle lune di Giove evidenziarono il desiderio dello scienziato di tornare nella sua terra d'origine.
Galileo riteneva che la protezione di un principe l'avrebbe potuto esonerare dagli impegni pubblici e accademici, gli avrebbe permesso di poter uscire dalle ristrettezze economiche in cui continuamente versava e si sarebbe potuto dedicare solamente alla sua attività di ricerca.
In giugno Galileo si dimise dallo Studio di Padova e il mese successivo venne nominato matematico di corte del Granducato di Toscana senza obbligo di cattedra.
Le reazioni al *Sidereus Nuncius* furono varie, dall'entusiasmo del tedesco Keplero fino all'opposizione dell'astronomo italiano Francesco Sizzi. Molti contestavano l'utilizzo del cannocchiale dichiarando che le scoperte di Galileo fossero frutto di illusione o addirittura artifici magici.
Personaggi autorevoli come il gesuita Cristoforo Clavio e l'astronomo bolognese Giovanni Magini non si espressero pubblicamente. Lo fecero solo in un secondo momento quando entrambi i celebri studiosi accettarono le scoperte galileiane accreditandole sempre più nella comunità intellettuale dell'Italia di inizio '600 (Festa 2012).
Galileo aveva bisogno del parere positivo dei gesuiti del Collegio Romano, di cui faceva parte il Clavio, in quanto importante autorità scientifica nella Roma papale al fine di evitare conflitti con l'autorità pontificia.
Nel frattempo Galileo scoprì le fasi di Venere e dedusse che quindi il pianeta non poteva girare intorno alla Terra. Nel marzo del 1611 Galileo si recò infine a Roma a presentare le sue scoperte astronomiche.
I gesuiti del Collegio Romano, numerosi cardinali, ed il Papa Paolo V in persona ricevettero in udienza lo scienziato toscano. Fu in questo periodo che Galileo incontrò il cardinale Roberto Bellarmino. In un evento pubblico il Collegio Romano confermò le scoperte galileiane e il 25 aprile 1611 Galileo fu iscritto ufficialmente fra i membri della prestigiosa Accademia dei Lincei (Bonechi 2008).
In contemporanea però il Santo Uffizio cominciò ad indagare sulle convinzioni filosofiche dell'autore del *Sidereus Nuncius*. Rimaneva tuttavia in gioco l'immobilità della Terra. Le scoperte di Galileo potevano infatti essere spiegate dal modello eliocentrico copernicano ma anche da quello geocentrico dello scienziato danese Tycho Brahe che avrebbe preservato il posizionamento della Terra al centro dell'universo in concordanza con le teorie aristoteliche (Festa 2012).
Negli anni tra il 1611 e il 1613 continuò il contrasto con i pensatori aristotelici. Una delle dispute più celebri fu quella col filosofo Lodovico delle Colombe riguardo al galleggiamento dei corpi come già descritto nel paragrafo 1.2.
La contrapposizione verteva nuovamente tra l'approccio filosofico e quello matematico alla fisica, era dunque una questione metodologica di conoscenza della realtà e dei fenomeni naturali (Bonechi 2008).
Nel 1611, durante la disputa sul galleggiamento, Galileo conoscerà il cardinale Maffeo Barberini che sarà eletto Papa nel 1623 e prenderà il nome di Urbano VIII.
Il cardinale era rimasto affascinato dalle scoperte pubblicate nel *Sidereus Nuncius* e non esitò a prendere le parti di Galileo nel dibattito sul galleggiamento dei corpi (Festa 2012).
Nel dibattito scientifico scoppiò un'altra violenta controversia che vide coinvolto Galileo contro l'astronomo gesuita tedesco Christoph Scheiner sulla natura delle

macchie solari. Il primo le riteneva delle imperfezioni del Sole mentre il secondo delle stelle che si interponevano tra la stella e la Terra.
Nel 1613 esplose infine il dibattito sul moto della Terra. Questa diatriba acquisì una grande importanza poiché nella Bibbia è esplicitamente scritto che il Sole si muove intorno alla Terra. In particolare in un passo del libro di Giosuè il condottiero ebraico intima al Sole di fermarsi e Dio lo esaudisce.
Opporsi alla fissità della Terra avrebbe implicato smentire l'interpretazione letterale dei testi sacri.
Nel 1613 l'abate Benedetto Castelli, su proposta al Granduca dello stesso Galileo, divenne cattedratico di matematica allo Studio di Pisa e, seppure condividesse col matematico di corte le idee copernicane, in nessuna lezione espose teorie che prevedevano la non immobilità del pianeta al fine di evitare controversie pubbliche o di incappare in sanzioni dell'autorità ecclesiastica (Bonechi 2008).
In quel tempo a Pisa ci fu un banchetto che coinvolse in un dibattito il Castelli con la granduchessa Cristina di Lorena sul problema del moto terrestre alla presenza di alte cariche granducali.
Il Castelli rimase talmente soddisfatto della propria difesa delle idee galileiane sul moto della Terra anche in un contesto pubblico che Galileo decise di far circolare alcune sue lettere tra cui la più celebre è proprio quella al Castelli in cui Galileo esprime la sua idea sul fatto che la natura e le scritture siano entrambe verbo divino ma che la natura sia immutabile mentre le parole si adattino al pubblico e allo scopo per cui vengono pronunciate (Bonechi 2008).
Lo strumento della lettera privata venne scelto da Galileo per poter diffondere le proprie idee senza incorrere nel rischio di una censura a cui un testo pubblicato sarebbe sicuramente stato sottoposto.
In conclusione della lettera Galileo obietta che, peraltro, all'interno del sistema tolemaico il fermarsi del Sole avrebbe causato un accorciamento del giorno anziché l'allungamento descritto nella Bibbia.
La lettera divenne quindi oggetto di dibattito pubblico ma anche di indagine da parte della Santa Inquisizione sulle convinzioni filosofiche dello scienziato toscano (Festa 2012).
La lettera forse più celebre fu però quella del 1615 che Galileo indirizzò a Madama Cristina di Lorena Granduchessa madre di Toscana. In tutte queste lettere lo scienziato toscano si interrogava sul ruolo della scienza come fonte primaria di conoscenza e del rapporto con le Scritture della scienza stessa.
Galileo riteneva il copernicanesimo un forte elemento di superamento della tradizione aristotelica e sperava di spingere la Chiesa, per cui provava forte rispetto, a un atteggiamento favorevole alle nuove scoperte della scienza (Gliozzi 2005).
Il 24 febbraio 1616 il Sant'Uffizio condannò infine due proposizioni galileiane (Festa 2012):

1. Che il sole sii centro del mondo, et per consequenza immobile di moto locale
2. Che la terra non è centro del mondo né immobile, ma si move secondo sé tutta, anche di moto diurno

La prima affermazione venne ritenuta eretica mentre la seconda perlomeno erronea nella fede.
Vennero quindi messi all'indice i libri che insegnavano la teoria copernicana. La sentenza fu comunicata, in forma privata, a Galileo dal cardinal Bellarmino che lo ammonì ad abbandonare le teorie eliocentriche e, nonostante gi storici dibattano

sull'autenticità della fonte, di astenersi da difendere, divulgare o studiare in qualsiasi modo le teorie copernicane (Gliozzi 2005).
La condanna fece sì che Galileo si dedicasse ad altri studi. Nel 1618, ad esempio, entrò in polemica col gesuita Orazio Grassi a proposito della comparsa di tre comete. Questo dibattito portò alla pubblicazione nel 1623 de *Il Saggiatore*. Seppure non sia l'opera più ricca dal punto di vista del contenuto fisico di Galileo essa è una sorta di manifesto del nuovo metodo scientifico sperimentale e quindi in conflitto col principio d'autorità diffuso al suo tempo. Risulta così un'opera e uno strumento importante per conoscere il pensiero dello scienziato toscano (Bonechi 2008).
Quando nel 1623 divenne Papa il cardinal Barberini col nome di Urbano VIII Galileo ritenne che fosse arrivato il tempo favorevole per riprendere la difesa pubblica delle sue posizioni eliocentriche.
Nel 1632 pubblicò finalmente il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*. Il dialogo si sviluppava tra tre personaggi: Salviati e Sagredo, amici defunti dell'autore, e Simplicio, personaggio immaginario omonimo di un commentatore aristotelico.
In quest'opera Galileo, tramite i personaggi di Sagredo e Salviati, difende le proprie teorie in contrasto col personaggio di Simplicio che rappresenta e sostiene il pensiero peripatetico.
L'autore fa ampio uso dell'ironia nei confronti di Simplicio, il quale risulta un personaggio sempliciotto e poco autorevole, e Galileo in quest'opera si pone in forte contrasto col principio d'autorità caro agli aristotelici (Gliozzi 2005).
Le reazioni furono estremamente polarizzate. Da un lato la ricezione entusiastica dei sostenitori del copernicanesimo dall'altra la risposta furiosa degli aristotelici.
Urbano VIII aveva autorizzato Galileo alla scrittura di un dialogo in cui le diverse posizioni fossero esposte in maniera paritetica. L'opera aveva infatti passato il vaglio della censura, era stata approvata la sua pubblicazione e l'autore aveva fatto esprimere a Simplicio l'argomento papale sulla divina potenza.
Qual era la posizione di Urbano VIII all'interno di questo dibattito? Egli riteneva che la mente umana fosse troppo limitata per comprendere il volere di Dio onnipotente e che quindi anche una descrizione matematica più accurata e precisa sarebbe stata limitata.
Il moto della Terra avrebbe quindi salvato le apparenze dei fenomeni ma sarebbe comunque stato meno potente della parola di Dio espressa nelle sacre scritture.
La scelta di aver fatto fare da tramite del pensiero papale a un personaggio così bistrattato venne visto come la messa in ridicolo del pensiero di Urbano VIII scatenandone la collera. Nel 1633 Galileo fu quindi di nuovo costretto a presentarsi davanti al Sant'Uffizio a Roma (Bonechi 2008).
L'accusa era quella di aver trasgredito al precetto del cardinal Bellarmino, nel frattempo deceduto, di astenersi dal trattare *quovis modo* la teoria copernicana.
Il 22 maggio 1633 Galileo abiurò i suoi "errori ed eresie" e fu condannato al carcere. Venne infine trasferito nella sua villa di Arcetri col divieto di visite non autorizzate e forti restrizioni.
Nel Luglio el 1638 presso gli Elzeviri di Leida vennero comunque dati alle stampe i *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali* dove vengono esposte tutte le più recenti scoperte e gli studi di meccanica dello scienziato toscano (Gliozzi 2005).
Le condanne subite da Galileo gli avevano imposto di non poter includere i suoi studi astronomici nell'opera che infatti tratta esclusivamente di meccanica come le leggi del moto, la resistenza dei materiali e il moto dei proiettili.

Nel 1639 Galileo divenne completamente cieco e nello stesso anno Vincenzo Viviani si trasferì nella villa Il Gioiello sulla collina di Arcetri dove nel 1641 li raggiunse anche Evangelista Torricelli. I due discepoli raccolsero e trascrissero gli ultimi lavori del grande scienziato ormai anziano e debilitato.
Galileo si spense nella notte fra l'8 ed il 9 gennaio 1642 (Festa 2012).

2.2 Il dibattito sulla struttura dell'Inferno di Dante nella Firenze del '500

Già dalla fine del XV secolo la fama di Dante e del suo poema crebbe e si diffuse in maniera significativa in tutta Italia. In particolare a Firenze, terra natia del poeta, cominciò un'opera di rivalutazione e di restaurazione della letteratura in volgare di cui Dante era uno degli esponenti più celebri.
Era in atto un intenso dibattito in cui ai sostenitori del volgare si opponevano coloro i quali ritenevano ancora il latino l'unica lingua erudita e letteraria. Uno dei principali ed efficaci esponenti di questa corrente innovatrice nel dibattito sulla lingua fu Cristoforo Landino.
Il Landino nacque nel 1425 e visse a Firenze presso la corte dei Medici. Egli fu conoscitore del greco e del latino. Studiò la letteratura e la filosofia antica, in particolare il pensiero platonico e aristotelico.
Fu assegnato alla cattedra di Retorica presso lo Studio Fiorentino e nelle sue lezioni dava lettura sia dei classici latini, come Virgilio e Orazio, sia di Dante e Petrarca, contribuendo alla valorizzazione del volgare come lingua alta della letteratura italiana medioevale (Barbi 1890).
Il 30 agosto 1481 il Landino pubblicò il proprio commento alla Commedia, edito a Firenze, e fu subito presentato alla Signoria cittadina vista l'importanza del suo autore (Landino 1481).
Il commento del Landino si inserì nella tradizione di commentatori della Commedia dantesca dei secoli precedenti. Nella sua analisi il poeta offre sia una lettura allegorico-teologica del poema che una più letteraria dell'opera (Landino 1481).
Landino introduce però una nuova chiave di lettura: quella scientifico-architettonica. In prefazione al suo commento l'autore aveva infatti inserito un discorso riguardo a *"Sito, forma et misura dello inferno et statura de' giganti et di Lucifero"* (Stefanini 2008).
Landino, nel suo commento, fa notare che Dante non è il primo autore a trattare il tema dell'inferno ma quello che lo descrive con *"Mathematica disciplina"*. Landino citò qui per la prima volta gli studi di Antonio Manetti (Fedi 2019).
Esistevano a fine '400 varie raffigurazioni pittoriche dell'Inferno dantesco come ad esempio quella di Giotto nella Cappella degli Scrovegni a Padova e più tardi quella di Luca Signorelli nella Cappella di San Brizio del Duomo di Orvieto ma nessuna di queste era fondata su calcoli rigorosi in base alle misure fornite da Dante nella sua opera.
Il Manetti fu però il primo a farne un'analisi topografica, cercando di misurare e descrivere quantitativamente la struttura immaginata da Dante in modo tale da costruire un modello dell'inferno non solo coerente con le informazioni del poema ma strutturalmente plausibile (Vespri 2021).
Antonio di Tuccio Manetti nacque ne 1423 a Firenze, fu un matematico, un architetto e biografo del celebre architetto Filippo Brunelleschi, autore della cupola del

Duomo di Firenze.
Il Manetti fu una figura tipica del Rinascimento, un uomo dall'ingegno multidisciplinare e infatti aveva una visione dell'architettura non come solamente un'utile tecnica ma anche un'espressione umana al pari di quella letteraria.
Fu in quest'ottica che iniziò i suoi studi sulla topografia dell'Inferno e cercò di descrivere con rigore scientifico l'architettura dantesca spinto dalla convinzione che eleganza poetica e verosimiglianza architettonica coesistessero nell'opera di Dante (Angelini 2013).
Un'altra delle influenze del Manetti fu la diffusione nei vari campi dell'arte a lui contemporanei della prospettiva e del suo studio scientifico da parte del Brunelleschi di cui lui era discepolo.
Volle quindi studiare la profondità dell'antro infernale e come esso fosse visto e quindi raffigurabile. Fino a quel tempo l'idea diffusa era quella di un anfiteatro simile all'arena di Verona come esplicitato da Iacopo della Lana nel suo commento alla Commedia intorno alla metà del '300.
Spinto da questo ideale di coniugazione delle varie espressioni artistiche e dalla fiducia nel rigore dell'immaginazione dantesca, il Manetti cominciò quindi il suo lavoro di misurazione e calcolo delle grandezze effettive del primo dei tre regni ultramondani (Fedi 2019).
Lo stesso Manetti trascrisse e pubblicò un'edizione commentata della Commedia in cui esprime le sue considerazioni di natura astronomica, storica e letteraria ma i cui sono assenti le misurazioni tratte dalle sue riflessioni.
I suoi studi topografici sono stati infatti tramandati solamente per via indiretta, nell'edizione del Landini ma soprattutto in due dialoghi del 1506 del Benivieni e infine nelle Due Lezioni galileiane (Cottignoli 2002).
Girolamo Benivieni fu un poeta fiorentino che nel 1506 pubblicò presso i Giunti di Firenze due dialoghi che avevano come tema la forma e il sito dell'Inferno di Dante (Benivieni 1897).
In questi dialoghi vennero esposte le teorie del Manetti, che era un amico del Benivieni. Quest'ultimo infatti dichiara di aver trasmesso col massimo della fedeltà possibile le idee dell'illustre architetto a cui riconosce il merito dell'intero lavoro (Vaccheri e Bertacchi 1881).
Nell'opera del Benivieni emerge il rigore delle misure del Manetti, il quale era estremamente attento alle regole di quelle che oggi chiamiamo forza di gravità e statica degli edifici.
Nello stesso tempo erano stati diffusi a Firenze alcuni disegni del Botticelli, sull'eredità delle opere di Giuliano da Sangallo, che raffiguravano l'Inferno e secondo alcuni studiosi questo spinse il Manetti ad investigare il tema e ad effettuare le misure dell'antro infernale in modo da formalizzare ciò che il grande pittore fiorentino aveva artisticamente rappresentato (Lévy-Leblond 2009).
È in questo contesto culturale che il 1 novembre 1540 alcuni giovani si radunarono in casa di Giovanni Mazzuoli dotto Stradino. Sebbene fossero tutti lavoratori coinvolti nel commercio decisero di istituire un'accademia che avrebbe diffuso e preservato la lingua fiorentina: l'Accademia degli Umidi. Il nome risale infatti al fatto che *"cosa alcuna non fussi procreata in questo mondo senza humidità"*.
Pochi mesi dopo, visto l'accrescersi dell'accademia, venne deciso di cambiare il nome in Accademia Fiorentina, ottenendo così il patrocinio del Granduca Cosimo dei Medici e quindi un importante prestigio nell'ambiente culturale della capitale del Granducato di Toscana.
Lo scopo principale dell'istituzione era quello di nobilitare e diffondere la lingua

volgare. Questo idioma si stava diffondendo tra XV e XVI secolo, anche nella sua forma scritta, in Toscana e in tutta la penisola italiana ma comunque incontrava l'opposizione di coloro i quali sostenevano il primato delle lingue classiche: greco e latino.
All'interno dell'accademia si scriveva solamente in volgare e come esempio di stile ed eleganza venivano presi o autori che si esprimevano in fiorentino oppure traduzioni di testi in latino nella lingua del tempo.
Per ottenere il prestigio sperato il volgare fiorentino doveva essere in grado anche di esprimere la terminologia più settoriale come quella scientifica e filosofica che fino a quel momento erano ad appannaggio delle lingue classiche.
Fu anche a questo scopo che Dante divenne un autore molto studiato poiché nella sua intera bibliografia, in particolare nella Commedia, aveva introdotto molte terminologie in volgare che descrivevano fenomeni fisici e letture filosofiche molto tecniche.
La prima lezione ufficiale dell'Accademia Fiorentina su Dante avvenne il 5 agosto 1541 quando Giovan Battista Gelli tenne una lezione sul canto XXVI del Paradiso dove l'Alighieri trattava il tema della lingua e del linguaggio.
Nei quarant'anni successivi a questa prima lezione l'Accademia Fiorentina patrocinò più di un centinaio di lezioni pubbliche sul tema della Commedia dimostrando quanto l'opera fosse centrale nel dibattito intellettuale fiorentino della seconda metà del '500 (Barbi 1890).
Una delle reazioni all'opera di Benivieni all'interno dell'Accademia Fiorentina fu quella del letterato Pier Francesco Giambullari. Il Giambullari nel 1544 pubblicò un commento alla Commedia in cui corresse leggermente il Manetti nella misura di alcuni cerchi e nella posizione di alcuni elementi come l'ingresso dell'Inferno.
Giambullari raffina e definisce alcuni dettagli dell'imponente opera del Manetti a cui riconosce i dovuti meriti e che attribuisce solamebte alla morte dell'architetto le piccole imprecisioni a cui lui pone rimedio (Barbi 1890).
Nello stesso anno, il 1544, venne però pubblicata a Venezia l'edizione del lucchese Alessandro Vellutello (Fedi 2019).
La critica del Vellutello al Manetti, a differenza di quella del Giambullari, è feroce. Definisce il Landino e il Manetti come *"avendo il cieco preso por sua guida l'orbo"* (Vellutello 1544) e biasima il Benivieni di non aver prodotto un'idea originale ma di aver adattato la propria per opportunità.
Alessandro Vellutello nacque a Lucca nel 1473, ricevette un'educazione umanistica e divenne profondo conoscitore di Dante e Petrarca. Nel 1516 lasciò Lucca per Milano e poi Venezia dove pubblicò nel 1544 la *Nova esposizione alla «Comedia» di Dante* in cui è contenuta la sua descrizione dell'antro infernale (Pirovano et al. 2020).
Nella sua analisi lo scrittore lucchese non analizza solamente l'Inferno ma anche il Purgatorio e il Paradiso dando una panoramica della struttura e dell'architettura di tutti e tre i regni ultramondani (Barbi 1890).
L'Inferno del modello del Vellutello era molto più piccolo di quello del Manetti, raggiungeva una profondità inferiore ed aveva i confini dell'antro diversamente inclinati (Stefanini 2008).
I dettagli dei due diversi modelli verranno esposti poi da Galileo e quindi si rimanda al paragrafo 3.1 per il dettaglio delle due rappresentazioni.
L'Accademia Fiorentina e l'ambiente letterario cittadino reagirono con fermezza alla veemente critica vellutelliana. I primi a reagire furono gli scrittori Luca Martini e Benedetto Varchi che cominciarono a mettere in evidenza quelli che ritenevano gli errori commessi dal Vellutello all'interno di lezioni pubbliche al fine di screditarne

l'opera.
L'Accademia Fiorentina era nata con una natura indipendente ma ben presto si schierò all'interno di questa diatriba in esplicita difesa degli intellettuali fiorentini. L'Accademia decise quindi di incaricare Galileo Galilei, tra la fine del 1587 e il 1588, a dover dirimere la questione e tenere due lezioni al fine di decretare quale delle due opinioni fosse la più autorevole e la più fedele alla visione dantesca (Barbi 1890).
Come mai fu scelto il giovane scienziato pisano è ancora oggetto di dibattito. Fu importante l'influenza di Guidobaldo del Monte ma anche quella del fratello Francesco. Secondo altri studiosi fu molto importante anche l'influenza del filosofo romagnolo Jacopo Mazzoni che aveva appena pubblicato un importante commento alla Commedia e che aveva tenuto lui stesso una lezione presso l'istituzione fiorentina pochi mesi prima. È quindi plausibile, visto il rapporto di stima tra i due, che sia stato il Mazzoni a caldeggiare il suo discepolo Galileo per questo delicato compito e studio (Cottignoli 2002).
Galileo nella sua analisi dichiara sin da principio il suo intento di difendere l'Accademia Fiorentina e il Manetti dalle ingiuste accuse del Vellutello e infine nel suo giudizio si schiererà con decisione dalla parte dell'architetto fiorentino adducendo motivazioni sia letterario ma soprattuto scientifico.
In conclusione del presente paragrafo si vuole citare la lettera di Filippo Valori, diplomatico fiorentino dell'epoca, che in una sua missiva cita il lavoro di Galileo, permettendo così di attribuire allo scienziato toscano le due lezioni il cui testo era stato riscoperto da Ottavio Gigli e la cui attribuzione fu oggetto di dibattito.
Scrive infatti il Valori: *"Con la medesima riputazione Galileo Galilei, ancor egli de' nostri, legge ora in Padova, come assai giovane cominciò a farsi conoscere in Pisa buon lettore, e in Firenze nell'Accademia Grande tolse a difendere Antonio Manetti, ne' suoi tempi tenuto valentuomo nella detta professione, sopra il sito e misure dell'Inferno di Dante, materia che ha dato che fare a' dotti; fra' quali il Vellutello sopra il medesimo poeta, per correggere il Manetti, diede occasione al Galileo di salvare con buone ragioni il nostro Fiorentino e ribattere i motivi del nobil Lucchese, col disegno in mano e distinzione di ogni debita misura"* (Valori 1604).

2.3 La geodesia, le unità di misura e la statica alla fine del XVI secolo

Nella presente sezione verranno illustrati i progressi scientifici fino al XVI secolo nelle tre discipline fisiche che principalmente sono coinvolte nelle Due Lezioni: la geodesia, le unità di misura e la statica.
L'intenzione è quella di presentare il quadro di conoscenze all'interno del quale si muove Galileo nella sua opera.

2.3.1 Geodesia

Le prima stime e misure della circonferenza terrestre di cui si ha traccia risalgono all'antica Grecia. Uno dei primi autori a farne menzione è Aristotele.
Il filosofo greco, che visse nel IV secolo a.C., fu un sostenitore della sfericità della Terra e nella sua opera *De coelo* illustra la sua visione cosmologica e cosmografica fatta di numerose sfere concentriche e giustifica la forma del pianeta adducendo due

prove: la sfera come unica forma possibile per un corpo con un centro attrattivo isotropo e l'osservazione dell'ombra circolare della Terra durante un'eclissi (Bunbury 1879a).
All'interno di questo celebre trattato, che influenzerà tutta la cosmografia successiva fino alle teorie di Copernico, Aristotele riferisce che alcuni matematici hanno misurato la circonferenza terrestre.
Il filosofo greco non riporta l'identità delle sue fonti o la metodologia di rilevamento adottata ma cita solamente la misura di 400.000 stadi. Questa è una delle prime misure quantitative del globo terrestre di cui si ha traccia e sarà un riferimento per gli autori successivi (Aujac, Harley e Woodward 1987).
Secondo alcuni studiosi i primi metodi per le misure del grado di latitudine, e quindi della circonferenza terrestre, nacquero in Grecia. Venivano selezionati due luoghi di riferimento che erano ritenuti sullo stesso meridiano e la cui distanza fosse nota. Venivano successivamente individuati i due punti nella volta celeste che si trovavano allo zenit di entrambi luoghi e, una volta individuato l'arco di circonferenza celeste tra questi due punti, veniva effettuata la proporzione tra la porzione nel cielo con quella sulla Terra che era nota con una misura assoluta.
I punti di riferimento principale erano la città di Siene in Egitto, e la costellazione del Cancro nel cielo; e la città di Lisimachia in Ellesponto che aveva come riferimento la costellazione del Dragone.
Poiché la distanza tra le due città era di 20.000 stadi e le due costellazioni distavano una frazione tra $\frac{1}{7}$ e $\frac{1}{8}$ della semivolta celeste la misura che si ricavava della circonferenza terrestre era di circa 300.000 stadi (Tozer 1971).
La misura più diffusa nell'antichità e che utilizzava una metodologia notevolmente accurata e una strumentazione sorprendentemente precisa per l'epoca fu quella di Eratostene.
Eratostene fu uno scienziato greco del III secolo a.C. che visse tra Atene e Alessandria d'Egitto. Non ci sono testimonianze dirette del lavoro di Eratostene ma il suo processo di misura ci arriva da autori successivi come Cleomede.
Il ragionamento che fece Eratostene è simile a quello descritto in precedenza ma con alcune differenze sostanziali. Un assunto di partenza era che la città di Siene fosse sul tropico del Cancro e ciò faceva sì che il sole si trovasse allo zenit durante la culminazione nel solstizio d'estate. Nello stesso momento doveva essere misurata, con l'aiuto di uno gnomone, l'ombra generata dal Sole presso la città di Alessandria d'Egitto al fine di effettuare la misura (Russo et al. 2003).
L'angolo generato dall'ombra dello gnomone che Cleomede tramanda è di $\frac{1}{50}$ di angolo giro, ed essendo stata misurata in 5.000 stadi la distanza tra le due città lungo lo stesso meridiano il risultato ottenuto fu che la circonferenza terrestre era di 250.000 stadi (Stahl 1942).
Nonostante il racconto di Cleomede numerose fonti latine e medioevali, come Plinio il vecchio, Vitruvio, Marziano Capella e Macrobio riportano la misura di 252.000 stadi come risultato dei conti di Eratostene (Russo 2013) (Wright 1925).
Numerosi studiosi si sono interrogati su questa discrepanza e non è scopo della presente Tesi approfondire l'argomento, ciò che risulta importante segnalare è l'enorme influenza e importanza che Eratostene ebbe nei secoli successivi divenendo il punto di riferimento per gli studi in questa materia.
Un'altra misura celebre dell'antichità è quella che fece tra il II e il I secolo a.C lo scienziato greco Posidonio e che ci viene trasmessa dagli scritti di Cleomede. La metodologia utilizzata in questo caso è differente da quella di Eratostene.
Posidonio sceglie due città che sono stimate essere sul medesimo meridiano, in que-

sto caso: Rodi e Alessandria d'Egitto. Viene individuata una stella di riferimento, in questo caso Canopo (α *Carinae*) che essendo molto luminosa è facilmente individuabile nel cielo.
Canopo si trova all'orizzonte nel cielo di Rodi mentre ad Alessandria d'Egitto essa si staglia sull'orizzonte con un angolo di $\frac{1}{4}$ di segno zodiacale e quindi $\frac{1}{48}$ di volta celeste. Assumendo che la distanza fra le due città sia di 5.000 stadi si ottiene che la circonferenza terrestre è di 248.000 stadi (Bunbury 1879b) (Aujac et al. 1987).
La stessa misura secondo altre fonti sarebbe diversa, Strabone infatti cita Posidonio e ne tramanda una misura di 180.000 stadi (Wright 1925).
Alcuni studiosi hanno fatto notare come l'utilizzo di strumenti come lo gnomone non fosse diffuso solo in occidente. Negli stessi anni anche in Cina le distanze tra le città venivano misurate con metodologie e strumenti simili a quelli usati dai Greci. La differenza sostanziale sta nella cosmografia delle due civiltà; se da un lato i Greci avevano accolto l'idea di una Terra sferica in Cina i modelli cosmologici prevedevano una Terra piatta e quindi diventava insensato interrogarsi sulla circonferenza del pianeta (Needham 1974) (Li e Sun 2009).
Una degli autori che più influenzò gli studi in materia di Geografia e Geodesia fu lo scienziato alessandrino Claudio Tolomeo che visse nel II secolo d.C. e che scrisse due delle più celebri opere scientifiche del tempo: l'Almagesto e la Geografia.
Nella Geografia in particolare si trova la misura della circonferenza terrestre che fornisce Tolomeo e corrisponde a 180.000 stadi. I motivi di questa riduzione sono ancora oggetto di studio poiché Tolomeo non offre dirette metodologie di osservazione ma si rifà al lavoro di Marino di Tiro che fornisce questa misura (Dilke et al. 1987).
Alcuni ritengono che l'origine della discordanza sia da ricondurre a una differente stima del numero di stadi che compongono il grado di latitudine mentre secondo altri la variazione è causata dai diversi stadi utilizzati poiché non esisteva un unità di misura della lunghezza condivisa nel tempo e nelle varie regioni (Russo 2013) (Dilke et al. 1987).
Il testo tolemaico non è arrivato direttamente dal greco ai giorni nostri ma è dovuto passare attraverso la traduzione di un'importante cultura e tradizione scientifica, quella araba.
Tolomeo era quindi convinto che un grado di latitudine fosse composto da 500 stadi greci e 66 $\frac{2}{3}$ miglia romane. La scarsa conoscenza delle unità di misura occidentali fece sì che anche nella cultura araba non ci fu concordanza nella misura in miglia del grado di latitudine.
Il califfo al-Ma'mūn cercò di favorire nuove misurazioni indipendenti al fine di risolvere questa confusione ma il tentativo non diede i frutti sperati. Nonostante il risultato di 56 $\frac{2}{3}$ miglia rimasero diverse stime del grado di latitudine anche all'interno della cultura araba (Mercier 1992).
Ci sono vari risultati arabi della misura della circonferenza terrestre negli anni tra il 900 e il 1200, come ad esempio la misura di 9.000 parasanga (il parasanga corrisponde a circa 30.000 stadi ellenici e circa 6 km) effettuata da Ibn Khurdādhbih oppure quella di al-Idrisi di 24.900 miglia (Kimble 1938).
Tuttavia la misura che si diffuse maggiormente in occidente fu quella dello studioso arabo al-Farghānī, volgarizzato come Alfragano e Alfargano. Al-Farghānī visse nel IX secolo e fu un grande intellettuale, geografo ed astronomo arabo.
Una delle sue opere più celebri sono gli *Elementi di astronomia sui moti celesti* che è un compendio dell'Almagesto di Tolomeo in lingua araba e che venne successivamente tradotto in latino.

Esistono varie copie di questo libro e non tutte concordanti ma recenti studi sono convenuti nel dire che per la misura della circonferenza terrestre che egli utilizzò la misura del grado di longitudine prodotta sotto al-Ma'mūn di 56 $\frac{2}{3}$ miglia e che quindi nella sua traduzione la circonferenza della Terra secondo Tolomeo misura 20.400 miglia (Abdukhalimov 1999).
Tolomeo e al-Farghānī ebbero grande diffusione nel Medioevo e uno dei più celebri studiosi delle loro opere fu Dante Alighieri. È lo stesso poeta toscano che nel Convivio cita il lavoro dello scienziato arabo.
In particolare nel capitolo XII del trattato secondo Dante scrive: *"E lo cielo di Mercurio si può comparare a la Dialettica per due proprietadi: che Mercurio è la più picciola stella del cielo, ché la quantitade del suo diametro non è più che di dugento trentadue miglia, secondo che pone Alfagrano, che dice quello essere de le ventotto parti una del diametro de la terra, lo quale è sei milia cinquecento miglia."* (Dante 2023).
In un passo successivo, in particolare nel Capitolo V del trattato terzo Dante misura la distanza di Roma dai poli e ricava che l'arco di circonferenza tra due luoghi opposti sulla superficie terrestre è 10.200 miglia. Appare quindi evidente l'influenza dell'opera e delle misure di al-Farghānī nella formazione e cultura di Dante (Kimble 1938) (Abdukhalimov 1999).
Uno degli autori che più influenzarono il contesto medievale dal punto di vista cosmografico fu lo scrittore latino Ambrogio Teodosio Macrobio che visse tra il IV e V secolo d.C. e che, tra le altre opere, scrisse un commento al *Somnium Scipionis* di Cicerone.
È proprio in quest'opera che lo scrittore latino cita la misura della circonferenza della Terra di Eratostene che corrisponde a 252.000 stadi. Tuttavia Macrobio non cita mai lo scienziato greco e non è ancora del tutto chiaro da dove sia tratta questa misurazione che è discorde sia coi racconti di Cleomede che con l'Almagesto di Tolomeo.
Il collegamento con Eratostene è tuttavia evidente poiché Macrobio utilizza un metodo di misurazione della circonferenza che lui asserisce di aver imparato da popolazioni egizie ma che è uguale a quello utilizzato dallo scienziato greco (Stahl 1942).
Nell'Alto Medioevo alcuni dei più importanti studiosi citano Macrobio ed utilizzano la sua misura di 252.000 stadi. Tra questi troviamo Marziano Capella e Isidoro di Sivigilia che citano la misura senza però aggiungere misure proprie o metodologie di rilevamento ma citando solamente l'opera di Macrobio (Wright 1925) (Kimble 1938).
Intorno all'anno 1000 ci furono vari astronomi che portarono avanti studi cosmografici come Beda il Venerabile e Ermanno il Contratto. Il più celebre fu probabilmente Giovanni Sacrobosco che visse tra la Gran Bretagna e la Francia e che intorno al 1230 pubblicò il suo *Tractatus de Sphaera.*
In quest'opera Sacrobosco introduce i concetti di base dell'astronomia senza la complicazioni dei calcoli in una forma adatta agli studi del *quadrivium* e l'opera divenne molto popolare in Europa. L'opera aveva infatti tra le sue fonti alcuni poeti classici come Virgilio, Ovidio e Lucano (Martins 2003).
Sacrobosco dedica tutto il capitolo XI del libro primo alla dimensione della circonferenza terrestre. Egli cita l'opera di Macrobio e riferisce la misura di 252.000 stadi per l'intera circonferenza e di 700 stadi per il singolo grado di latitudine (Sacrobosco 1561).
Uno degli eredi dell'opera di Sacrobosco fu il teologo francese Pierre d'Ailly che nella su opera *Imago mundi* riprende la misura citata dall'astronomo inglese aggiungendo

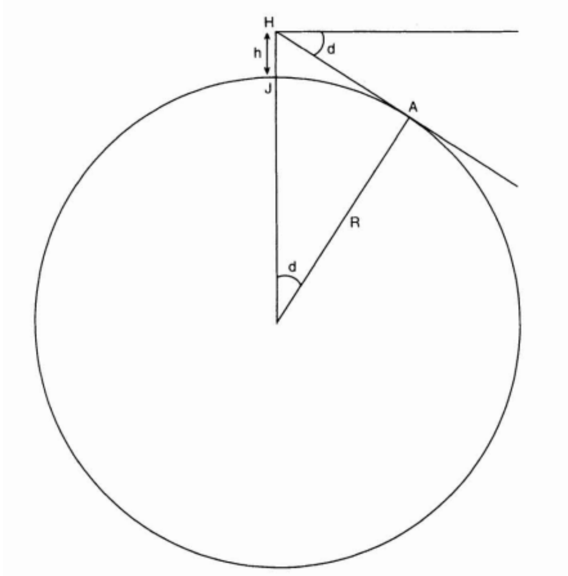


Figura 2.1: In figura è raffigurata lo schema del processo utilizzato dallo scienziato arabo al-Bīrūnī per ricavare il grado di latitudine. L'immagine è tratta da Mercier 1992

però la conversione dei 252.000 stadi a 15.750 leghe, e poiché ogni lega corrisponde a 2 miglia la circonferenza terrestre risulta essere di 31.500 miglia.
Sebbene la misura sia quella di Macrobio, la metodologia che descrivono è la medesima degli studi arabi di al-Bīrūnī per determinare il grado di latitudine (Grant 1996).
Prendendo a riferimento la figura 2.1 la relazione che restituisce il raggio terrestre è:

$$R = h \cos\left(\frac{d}{1-\cos(d)}\right) \tag{2.1}$$

Dove h è l'altezza di un rilievo nota, in questo caso il forte di Nandana nella regione pakistana del Punjab. Il risultato di queste misure fu di 56 $\frac{2}{3}$ miglia (Mercier 1992).
Nonostante il procedimento sia di origine araba le misure di D'Ailly citano quelle di Macrobio che sono diverse da quelle riferite da al-Farghānī che comunque vengono citate dall'autore francese (Grant 1974).
Si può concludere quindi che al tempo di Galileo esistevano due principali fonti per la misurazione della circonferenza terrestre: quella classica proveniente dalle opere di Tolomeo e al-Farghānī; quella medioevale figlia dell'opera di Sacrobosco.

2.3.2 Unità di misura

Le unità di misura sono uno strumento utilizzato sin dall'antichità e che sono oggetto di studio sin dal XVIII secolo, in cui ne troviamo questa definizione (Cristiani 1760): *"Diro adunque in generale, che il nome di Misura dinota qualunque cosa che servir polla di norma per conoscere e, per determinare l'estensione, la grandezza, e la quantica, di qualche corpo, ovvero secondo i Geometri, il nome di Misura significa una certa quantità, che si assume come una, o come unità, la quale applicata esséndo ad altre omogenee, o simili quantità, ci dimostra quante volte vi vien compresa, o quali parti esse ne comprendano, essendo più picciole"*
Le unità di misura sono quindi uno strumento fondamentale per trasmettere e con-

dividere le quantità di una certa grandezza in modo da rendere accessibile l'informazione al proprio interlocutore. È necessario però che la misura a cui si riconduce una specifica quantità sia concordata e che quindi esista uno standard di riferimento condiviso.
Nel presente paragrafo limiteremo l'analisi alle unità di misura delle distanze con particolare attenzione a quelle del territorio fiorentino che ci permetteranno di approfondire il loro ruolo nelle Due Lezioni galileiane.
Nell'antica Grecia si usavano unità di misura delle lunghezze antropomorfe come piedi, passi, ma anche giornate di cammino in una commistione tra unità di misura delle lunghezze e del tempo.
Questo esempio ci permette di fare alcune deduzioni. In particolare risulta evidente la centralità della figura umana nella cultura greca ma non solo, l'utilizzo di parti del corpo come standard permetteva di avere una stima delle grandezze in gioco senza aver bisogno di strumenti ma risultava sufficiente il proprio corpo.
Appare manifesto il limite di questo sistema dove le mani, i piedi e la velocità del passo di due persone sono sempre diversi e quindi non univoci ma non è da sottovalutare la praticità e l'ampia diffusione di questa metodologia metrologica (Giannichedda 2008).
Nella cultura greca esisteva però un elemento di condivisone che accomunava tutte le città elleniche: le olimpiadi. Questa manifestazione occupava un ruolo centrale nella cultura greca ed era il luogo di raduno di tutte le città.
Le gare ad Olimpia si basavano su una distanza standard: lo stadio. La leggenda narra che fosse la distanza che Ercole fosse in grado di correre senza dover prendere fiato. Qualunque sia la ragione questa era l'unità di misura, dell'ordine dei 200 m, per le lunghe distanze e aveva come riferimento lo stadio della città di Olimpia (Burattini 1675).
Anche questo standard non resse a lungo e seppure sempre col nome stadio la misura di questo standard variò nel tempo ed è stato a lungo oggetto di studio dei ricercatori.
In epoca romana e altomedioevale continuò l'utilizzo, in Occidente, di unità di misura riferite al corpo umano anche se cambiava lo standard e non ci fu mai una vera e propria uniformità in materia. Risulta interessante segnalare come in altre culture i riferimenti erano ben diversi; come in Cina dove la misura standard di lunghezza era data dalla misura di un dato strumento che vibrando emettesse una specifica nota evidenziando la centralità della musicalità e dell'equilibrio del cosmo (Uzielli 1899).
In un'epoca in cui siamo abituati da generazioni alla suddivisione decimale risultano innaturali sistemi a base 12 o 16 come quelli medioevali. Questi sistemi permettono però di dividere a metà una lunghezza per due o addirittura tre volte senza dover ricorrere ai decimali agevolando quindi il calcolo e, di conseguenza, gli scambi commerciali (Giannichedda 2008).
Un esempio è il braccio fiorentino che equivaleva a 20 soldi, un soldo equivaleva 12 denari e il denaro si divideva in 12 punti. Il braccio veneziano invece erra suddivisibile in 12 once (Zupko 1981).
Nell'Alto Medioevo cominciarono a diffondersi unità di misura sempre più pratiche. Lo sviluppo del commercio faceva sì che le unità di misura fossero più pratiche e adatte a questo nuovo fenomeno. Si ebbe quindi un'importante modifica delle consuetudini; se infatti dopo la caduta dell'Impero Romano i riferimenti e i campioni delle unità di misura erano conservati nelle chiese o comunque da autorità religiose perché ritenute maggiormente stabili, è intorno al 1200 che le autorità civili comin-

ciarono a forgiare i campioni di riferimento delle misure e ad affiggerli in luoghi pubblici come colonne o palazzi.
Ogni città, in particolare in Italia, codificò quindi una propria unità di misura e utilizzava uno strumento a cui poi la cittadinanza potesse riferirsi per avere una propria misura da usare nelle botteghe o per qualsiasi altro scopo (Giannichedda 2008).
I sistemi metrici predecimali mettono quindi in evidenza la loro natura e il loro legame col mondo economico in cui si sviluppano. Le unità di misura nel Basso Medioevo e nel Rinascimento in Italia erano stabilite a livello comunale e anche nei paesi adiacenti alle maggiori città spesso si trovavano unità di misura differenti non solo nel valore ma anche nella nomenclatura. Ad esempio a Firenze si usava come unità di misura delle superficie lo stioro mentre nei comuni limitrofi di Sesto Fiorentino e Dicomano veniva adoperato lo Staio (Tucci 1974).
I commerci tra le città però erano floridi e sorse quindi l'esigenza pratica di convertire le diverse unità di misura vigenti nei vari comuni di Italia e di Europa. Nacquero così dei manuali, stampati presso le diverse città, in cui venivano elencate le imposte presenti nelle principali località di commercio e le conversioni tra le unità di misura locali e quelle forestiere. Tra questi libri si può citare il celebre: *La pratica della mercatura* di Francesco Balducci Pegolotti in cui erano presenti le principali conversioni della fine del '400 (Pegolotti 1766).
Comprensibilmente le conversioni non erano stabilite da organismi super partes ma dall'esperienza dei mercanti e quindi avevano un'elevata variabilità ma questi manufatti permisero ai mercanti del tempo di poter intrattenere rapporti commerciali che portarono a un significativo sviluppo economico (Tucci 1974).
Verrà presentata adesso una breve storia delle unità di misura di lunghezza a Firenze. Innanzitutto occorre specificare che esistevano quattro tipologie di misure: commerciali o di piccole dimensioni, itinerarie terrestri, itinerarie marittime e catastali.
Quelle itinerarie terrestri erano le meno diffuse anche perché erano le meno precise, tipicamente si usavano misure di tempo per quantificare le grandi distanze come ad esempio le giornate di cammino. A partire da queste venivano convertite in miglia, che approfondiremo più avanti, con un numero significativo di errori a causa delle innumerevoli variabili che influenzavano questo tipo di misure.
Ci concentreremo quindi principalmente sulle misure commerciali in particolare quella citata da Manetti, Vellutello e Galileo: il braccio fiorentino.
A seguito della caduta dell'Impero Romano il primo tentativo di ristrutturazione delle unità di misura venne portato avanti dal re longobardo Liutprando nell'VIII secolo. La misura del piede di Liutprando non si diffuse in maniera omogenea tanto è vero che esistono fonti diverse che, in base alle città, gli associano grandezze che vanno dagli 0,39 m ai 0,514 m.
Liutprando prese come riferimento nella sua stipulazione il cubito romano ma poiché la misura più diffusa nel popolo era il piede, la nuova misura volgarmente si diffuse col nome di piede di Liutprando. Essendo però ben superiore a una misura antropologica realistica crebbe il mito di un gigantesco re longobardo.
Il piede di Liutprando si diffuse in tutta Italia, a Torino fino addirittura al 1800 mentre a Firenze venne riformato già intorno al 1200 lasciando però traccia nella città. Infatti su una colonna della porta del Battistero che dà sulla Loggia del Bigallo è presente un'incisione rettangolare con lato maggiore di circa 0,39 m che fungeva da riferimento per la cittadinanza. Le prove dell'utilizzo di questa misura risiedono in documenti commerciali risalenti al 1036 e anche nei secoli successivi in cui ci si

appellava al *"pes qui dicitus Liutprandi"*.
Intorno al 1200 nella città di Firenze cominciò a diffondersi una nuova misura, probabilmente di origine orientale: il braccio.
È infatti in quest'epoca che gli scambi con la terra santa si intensificano alimentando l'interesse per la topografia di quelle terre e per la misurazione dei personaggi biblici in particolare Gesù.
La fonte principale di queste misure è la sacra sindone che indica nel suo segno la figura di un uomo alto 1,78 m che divisa per tre dà come risultato 0,593 m, molto simile, per esempio, al braccio torinese che è di 0,599 m.
Nel XIV e nel XV si ha traccia stampata sulle pagine di diversi codici di frazioni della misura di Cristo in modo da poter permettere al lettore di calcolarne la statura.
Questi fattori, uniti alla misura legale in Palestina ovvero il braccio che misurava 0,5548 m, portano alla diffusione in varie zone d'Italia di una nuova misura chiamata braccio o cubito che oscillano tra 0,55 m e 0,59 m.
In particolare a Firenze si diffusero due diverse tipologie di braccio: il braccio da panno e il braccio da terra. Il braccio da terra, che valeva 0,5512 m, era utilizzato principalmente per le misure agrimensorie; esso era infatti $\frac{1}{3000}$ del miglio che valeva 1653,6 m, unità di misura delle grandi distanze, in somiglianza al miglio palestinese, anch'esso composto da 3000 braccia.
Il braccio da panno fiorentino era invece l'unità di misura per il commercio e le piccole misurazioni. Esso valeva 0,5835 m ed esistono testimonianze di ben nove luoghi dove erano deposti i campioni a cui fare riferimento, di queste solo una è stata recentemente restaurata e preservata in via de'Cerchi simbolicamente a metà strada tra Piazza del Duomo e Piazza della Signoria.
Nel 1781 il Granduca di Toscana Pietro Leopoldo abrogò il braccio da terra, rendendo legale solo il braccio da panno rinominandolo come braccio fiorentino. Nel 1808 venne infine adottato il sistema metrico decimale in tutta la Toscana (Uzielli 1899).

2.3.3 Statica

Nel mondo antico, e poi nel Medioevo, i rapporti diretti tra la scienza e la tecnica sono molto rari. Il sapere speculativo e quello pratico hanno per lungo tempo percorso due strade che raramente si sono intersecate.
Generalmente l'obiettivo della tecnica era il fine pratico e raramente vi si accompagnava lo studio delle ragioni e il metodo analitico pur raggiungendo risultati strabilianti (Cantoni, Marchis e Rovida 2014).
Uno dei primi pensatori greci che tenta di descrivere la realtà osservabile tramite criteri generali fu Aristotele. Con una narrazione pur sempre di stampo filosofico egli sviluppò le prime teorie di meccanica.
In particolari i moti naturali dei corpi nel mondo sublunare venivano descritti dal filosofo greco come la naturale tendenza dei corpi a tendere verso il loro luogo originario. Come già detto in precedenza, il mondo sublunare aristotelico era composto di quattro sfere concentriche, dalla più interna a quella più esterna: terra, acqua, aria e fuoco.
È per questa ragione che i corpi pesanti, come una pietra, tendono verso il centro della Terra mentre quelli più leggeri, come una fiamma, tendono verso l'alto. Quelli fino ad ora trattati sono però i moti secondo natura, esiste una seconda categoria di moti, definiti violenti, che nella fisica aristotelica seguono regole diverse (Gliozzi 2005).

Un esempio è il moto del proiettile e nella dinamica aristotelica un corpo è in moto perché sempre soggetto a una forza che è applicata nel tempo e a sua volta è inversa rispetto alla resistenza del mezzo in cui si muove.
Una delle prime opere in cui si trattano temi di meccanica sono le *Questioni meccaniche*, attribuita ad Aristotele, ma sul cui autore è tutt'ora aperto il dibattito degli studiosi. In quest'opera vengono studiate, tra gli altri argomenti, le leve e le loro condizioni di equilibrio.
Nelle Questioni l'energia che mette in moto un corpo è data dal prodotto tra il peso della massa del corpo, i due concetti rimarranno non chiaramente distinti ancora per molto, e la velocità del corpo.
Uno degli aspetti più innovativi di quest'opera è però la riduzione del funzionamento di semplici macchine a principi generali e condivisi introducendo uno stilema che verrà ripreso in epoche successive (Dugas 1988).
Alcuni autorevoli studi ritengono che il fondatore della statica come disciplina sia Archimede che fu uno scienziato che visse nella colonia greca di Siracusa durante il III secolo a.C. e che divenne noto per i suoi studi teorici e tecnici.
Le esposizioni archimedee hanno un andamento geometrico eppure molti studiosi ritengono che siano ricavate da esperienze non descritte ma quasi sicuramente effettuate da lui stesso.
Una delle prime opere dello scienziato siciliano riguarda i centri di gravità dei corpi in cui tratta anche i principi delle leve e dei baricentri delle figure solide. Se nelle Questioni il principio di equilibrio delle leve era esposto in maniera oscura e mescolato con le dottrine dinamiche in Archimede trae le sue conclusioni da osservazioni dirette di esperimenti da lui svolti.
Il primo principio presente nella sua opera *Sull'equilibrio dei piani* dice infatti: *"Supponiamo che pesi eguali sospesi a distanze eguali conservino l'equilibrio. Pesi eguali sospesi a distanze diseguali non conservano l'equilibrio ma [il sistema] si abbassa dalla parte del peso sospeso a maggiore distanza"*.
Nella stessa opera Archimede introduce altri concetti fondamentali: il centro di gravità di un corpo e il momento (Gliozzi 2005).
Nei secoli successivi, sebbene non ci siano arrivate fonti dirette, in alcuni trattati arabi Euclide viene citato spesso in merito a studi di meccanica. Uno dei più importanti studiosi della meccanica nella cultura araba fu Thābit ibn Qurra che pubblicò l'opera *Liber Charastonis* nel IX secolo che venne tradotto in latino da Gherardo da Cremona nel XII secolo.
Sebbene l'origine del titolo sia ancora dibattuta, quest'opera è un trattato sull'equilibrio in particolare quello delle leve ampliando e sviluppando gli studi iniziati da Archimede (Duhem 1991).
Nel Medioevo la scienza progredì, non si potrà parlare di rivoluzione come è stato fatto per i secoli successivi, ma esistono alcuni elementi di ricerca che occorre menzionare.
Uno dei personaggi più importanti e più singolari fu Giordano Nemorario. Di questo scienziato non si hanno informazioni biografiche precise, si sa che la sua opera si diffuse tra l'XI e il XIII secolo e che ebbe grande importanza negli studi di statica del tardo Medioevo.
L'elemento più innovativo presente nelle opere che gli sono attribuite è quello dell'introduzione della *gravitas secundum situm* o *gravitas accidentalis*. Questo concetto esprime la variazione della forza di gravità di un corpo secondo la sua posizione: essa è uguale al minimo sforzo che bisogna fare per impedire il moto di un corpo soggetto a vincoli (Gliozzi 2005).

Secondo alcuni studiosi l'introduzione di questo concetto ha portato Giordano Nemorario alla formulazione del teorema dei lavori virtuali, il cui enunciato recita: se si può elevare un certo peso a una certa altezza, si può anche sollevare un peso k volte maggiore a un'altezza k volte minore (Duhem 1991).
Durante il XIV secolo l'Università di Parigi divenne un'importante centro di studi della meccanica, sempre legata al commento delle opere aristoteliche. Tra gli studiosi più celebri vi furono: Giovanni Buridano, Alberto di Sassonia e Nicola Oresme.
Il Buridano fu rettore dell'università parigina e la sua opera più importante fu la *Quaestiones totius libri physicorum* e la disciplina in cui porta i contributi più innovativi è la cinematica. Egli introduce la teoria dell' "impeto" che il motore imprime all'oggetto mobile che quando si esaurisce il moto cessa, al contrario di Aristotele che sosteneva un continuo sostegno da parte del mezzo all'oggetto in movimento.
Un seguace du Giovanni Buridano fu il suo discepolo Alberto di Sassonia che insegnò alla Sorbona dal 1350 al 1361. Nel suo *Tractatus proportioni* egli dà una prima definizione della velocità circolare, chiamata *velocitas circuitationis*, e una classificazione dei moti di traslazione e rotazione.
Nicola Oresme continuò gli studi dei suoi predecessori a Parigi, introdusse per primo la rappresentazione grafica di un fenomeno fisico disegnando un diagramma della velocità in funzione del tempo all'interno della sua opera *De latitudinibus formarum* (Gliozzi 2005) (Dugas 1988).
Nello stesso tempo si diffusero studi di meccanica anche nell'università di Oxford che però ha un'impostazione più logico-matematica rispetto a Parigi ma che comunque contribuì al dibattito scientifico dell'epoca in particolare nella cinematica. Se gli studiosi parigini non esitarono di opporsi alle formulazioni aristoteliche gli studi oxfordiani tentarono di matematicizzare la fisica del filosofo greco.
Anche nelle università italiane gli studiosi commentavano la fisica aristotelica. In particolare si dibatteva, sostenendole oppure opponendosi, le idee di Alberto, Oresme o degli studiosi di Oxford. Esistono numerose opere e commenti di studiosi italiani ai trattati provenienti dalla Francia e dall'Inghilterra.
Secondo autorevoli studi, la diffusione delle università, delle tipografie e delle biblioteche fece sì che in Italia si sviluppò un fervente movimento di studio della fisica e di riscoperta delle opere greche, è infatti in questo periodo che vengono alla luce e tradotte in Italia le Questioni meccaniche già sopra menzionate (Duhem 1991) (Gliozzi 2005).
È noto che Leonardo da Vinci fosse un profondo conoscitore degli studi di meccanica del suo tempo, in particolare delle opere di Aristotele, Archimede, Thābit ibn Qurra e del Nemorario. Portò però in avanti questi studi sul momento delle forze e sulla loro composizione. Scoprì inoltre il teorema del poligono di sostentamento secondo cui un corpo appoggiato su un piano orizzontale è in equilibrio se il piede della verticale condotta per il suo baricentro è interno alla base d'appoggio.
L'apporto di Leonardo all'ambiente culturale del suo tempo è tutt'ora oggetto di studi e di dibattito. Sicuramente è nel '500 che si diffuse l'opera di Archimede, con traduzioni e commenti come quella del Tartaglia e di Guidobaldo del Monte. Queste opere richiesero di introdurre una nuova terminologia scientifica poiché non si scriveva più esclusivamente in latino ma anche in volgare.
Nel 1546 Niccolò Tartaglia pubblicò i *Quesiti et inventioni diverse*, un'opera dalla forma dialogica all'interno della quale vengono proposte questioni pratiche a cui l'autore estrae considerazioni più generali.
Nel libro VIII dell'opera Tartaglia non cita mai il Nemorario ma segue la sua definizione di *gravitas secundum situm*. Egli sostiene che, in termini moderni, la com-

ponente del peso del corpo nella direzione del piano inclinato è proporzionale al peso del corpo per la proiezione sulla verticale della lunghezza del piano. Da questa proposizione ricava il teorema che asserisce: le componenti del peso di due corpi, posti su due piani inclinati di uguale altezza, nella direzione del piano inclinato sono uguali se i loro pesi assoluti stanno in rapporto tra loro come le lunghezze dei piani.
Contemporaneo al Tartaglia fu Girolamo Cardano che anche lui si occupò dell'equilibrio dei corpi sui piani inclinati ed entrò in feroce polemica con l'autore dei Quesiti riguardo alla dipendenza della velocità di un oggetto sul piano inclinato dall'angolo di inclinazione e non dal seno di quest'ultimo.
Giovanni Battista Benedetti nel 1554 pubblicò una nuova dimostrazione del fatto che due corpi uguali nella forma e nel materiale, ma non nelle dimensioni, cadono a terra nello stesso tempo. Egli considera due oggetti di cui uno, A, il doppio dell'altro, B, se si divide in due parti uguali quello di dimensioni maggiori ciascuna di quelle parti in cui è diviso A cadrà ugualmente a B. Ne deduce quindi che se ciascuna delle due parti cade come B, anche tutto A cadrà come B. Il Benedetti è stato più volte citato da Galileo nella sua opera mostrando l'importanza che questo autore ha avuto nel contesto culturale del suo tempo.
Il fiammingo Simon Stevin dimostrò infine la legge di equilibrio su piano inclinato. Egli ipotizzò una sorta di rosario composto da 14 grani adagiato sui due cateti, uno il doppio dell'altro, di un triangolo rettangolo con ipotenusa orizzontale. Poiché se si rompesse l'equilibrio si avrebbe un moto perpetuo, la tensione esercitata dai grani adagiati sul cateto minore deve essere uguale a quella esercitata dalla porzione di catena sul lato maggiore. Stevin ne concluse che, essendo alla medesima altezza, pesi uguali esercitano una forza inversa alla lunghezza del piano (Gliozzi 2005).

Capitolo 3

Dall'analisi delle Due Lezioni: Galileo Galilei scienziato e umanista del suo tempo

Nel presente capitolo verranno illustrate e commentate le considerazioni effettuate da Galileo nelle sue Due Lezioni.
In un primo momento verrà descritta ed esposta l'analisi che Galileo fa di fronte al pubblico dell'Accademia Fiorentina.
Successivamente verranno messi in evidenza una serie di aspetti che costituiscono il contributo originale della presente tesi alla letteratura di ricerca corrente.
Tali aspetti riguardano da una parte il contesto nel quale Galileo opera: in particolare si mostrerà come le conoscenze scientifiche greche, che gli umanisti del Rinascimento avevano recuperato e che circolavano nella Firenze del tardo Rinascimento abbiano plasmato la formazione del giovane scienziato il quale, non ancora diventato uno dei celebri fondatori di una nuova scienza sperimentale, ne fa largo uso, dando prova della sua cultura.
Dall'altra, si mostrerà come certi temi trattati nelle Due Lezioni permettano di ricostruire il percorso di maturazione scientifica affrontato da Galileo stesso.
A tal proposito, nell'ultima sezione del capitolo, i contenuti delle Due Lezioni su certi temi specifici verranno confrontati con quelli dei Discorsi e Dimostrazioni sugli stessi temi, evidenziando in questo modo facendo risaltare lo sviluppo del pensiero che lo scienziato toscano ha messo in atto nell'arco della sua intera carriera.

3.1 La lettura Galileiana delle opere del Manetti e del Vellutello

Nel presente paragrafo verrà mostrato il punto di vista di Galileo rispetto alle costruzioni del Manetti e del Vellutello che lo scienziato pisano esprime nelle Due Lezioni.
L'edizione dell'opera a cui la presente Tesi si riferisce è quella pubblicata da Riccardo Pratesi nel 2011 per la casa editrice Sillabe (G. Galilei e Pratesi 2011).
La prima delle due lezioni inizia con un preambolo in cui Galileo introduce lo scopo della sua opera ovvero di indagare non ciò che è sensibile ma l'Inferno che è *"sepolto nelle viscere della terra, nascoso a tutti i sensi, è da nessuno per niuna esperienza conosciuto; dove, se bene è facile il discendere, è però tanto difficile l'uscirne"*.
Vengono successivamente tessute le lodi di Dante *"corografo et architetto di più*

sublime giudizio" il quale però non ha dipanato ogni dubbio riguardo la struttura infernale nonostante il grande numero di informazioni che dà al lettore nel suo poema e che sono da ritenere indubitabili per coloro che vorranno studiare l'architettura infernale.
Galileo introduce quindi il Manetti e il Vellutello come coloro che tentarono di disegnare e misurare con precisione l'antro dell'inferno. Dichiara inoltre la motivazione che ha portato alla nascita di quelle lezioni: il tentativo di difesa dell'Accademia Fiorentina dalle calunnie del Vellutello.
Prima di iniziare l'effettiva analisi delle due descrizioni del primo regno ultramondano l'autore esprime i punti su cui verterà la sua analisi:

1. Studio delle dimensioni dell'Inferno in assoluto e in relazione alla Terra;
2. Dove è situato l'Inferno;
3. Suddivisione interna dell'Inferno;
4. Misura degli intervalli delle varie suddivisioni;
5. Larghezze trasversali di ciascun girone;
6. Descrizione del viaggio di Dante e ulteriori dettagli;

Inizia qui l'illustrazione del disegno manettiano. Galileo ci dice che in questo modello l'Inferno occupa il volume di un cono rovesciato a base sferica che ha come vertice il centro della Terra, come apotema e anche raggio della base il raggio del pianeta.
Il centro della base di questo cono è sulla congiungente tra Gerusalemme e il centro della Terra che, come dice in questo testo Galileo, *"è ancora centro della gravità e dell'universo"*.
L'arco a cui l'Inferno sottende è quindi la sesta parte dell'intera circonferenza terrestre; questo però non implica che il volume occupato sia la sesta parte ma bensì *"qualcosa meno di una delle 14 parti di tutto l'aggregato"*.
Nel fare questa osservazione Galileo cita il trattato "Della sfera e del cilindro" di Archimede mostrando un'erudizione fuori dal comune. L'opera dello scienziato siracusano non era molto nota al tempo e questa esibizione di cultura viene usata da Galileo al fine di mettersi in luce di fronte al suo pubblico anche in vista della sua candidatura alla cattedra di matematica allo Studio di Pisa (Lévy-Leblond 2009).
Il Pratesi mostra che il conto è leggermente impreciso (G. Galilei e Pratesi 2011).
Archimede nel suo trattato dice: *"La superficie di qualunque segmento sferico minore di un emisfero è uguale ad un cerchio, il raggio del quale è uguale al [segmento di retta] condotto dal vertice della sezione sulla circonferenza del cerchio base del segmento sferico"* (G. Galilei e Pratesi 2011).
Eseguendo il conto si osserva che il risultato del volume del cono a base sferica utilizzando il metodo di Archimede è uguale a quello ottenuto tramite il calcolo integrale e si ha dunque

$$V_{cs} = \frac{2-\sqrt{3}}{3}\pi r^3 \tag{3.1}$$

E quindi il rapporto tra il volume del cono sferico V_{cs} e quello della sfera V_s sarà:

$$\frac{V_s}{V_{cs}} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\frac{2-\sqrt{3}}{3}\pi r^3} \approx 14,92 \tag{3.2}$$

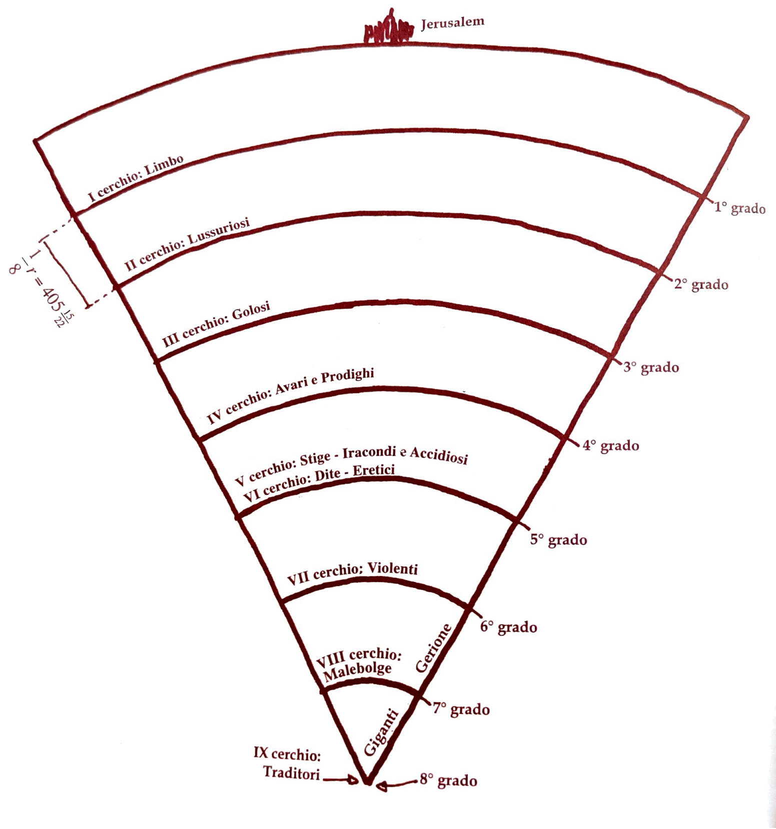
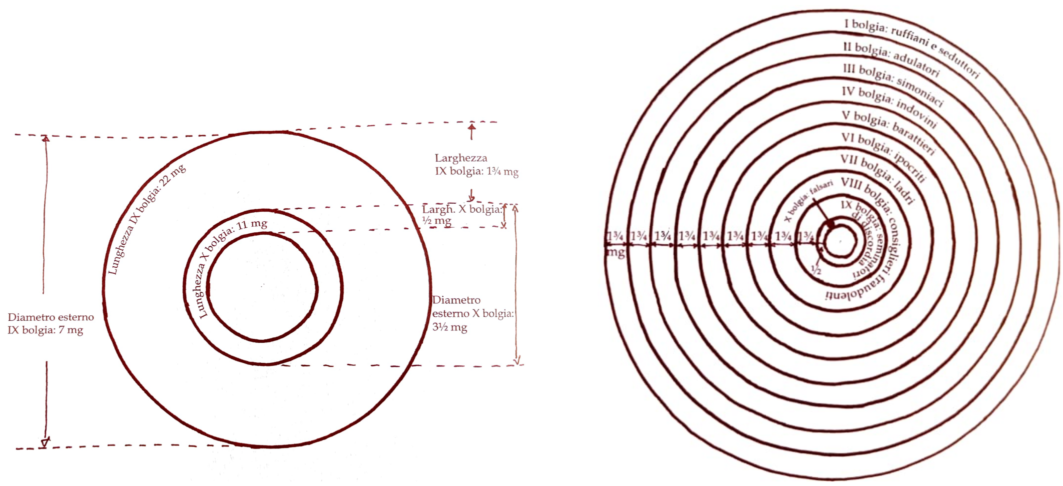


Figura 3.1: In figura è raffigurata la divisioni in gradi e le rispettive dimensioni del modello di Manetti dell'Inferno. L'immagine è tratta da G. Galilei e Pratesi 2011

Galileo indica anche lo spessore, citando il Manetti, del guscio che separa Gerusalemme dall'antro infernale ed è misurato nell'ottava parte del raggio terrestre ovvero $405\frac{15}{22}$ miglia.
Lo scienziato pisano introduce successivamente la descrizione dei gradi in cui è suddiviso l'Inferno secondo il disegno del Manetti e ne vuole misurare il numero, le larghezze e le distanze reciproche.
Galileo fa notare come le pareti di questo cono non siano lisce ma che ci siano dei gradini in modo da suddividere la regione in diversi ordini all'interno dei quali risiedono i peccatori in base al diverso peccato per cui sono puniti.
La caverna infernale è divisa in otto gradi e Galileo la paragona a un anfiteatro che avvicinandosi alla propria parte inferiore si restringe. Se però gli spalti di un anfiteatro terminano con una piazza, l'Inferno si restringe fino ad un unico punto: l'ombelico di Lucifero.
L'autore illustra come la suddivisione in gradi non coincida con la suddivisione in cerchi di Dante poiché in un singolo grado possono coesistere più cerchi. È il caso del quinto grado, posto che il numero è dato partendo dalla superficie fino al centro della Terra, dove sono situati il cerchio degli iracondi e accidiosi e quello degli eretici.
Ognuno dei primi sei gradi misura radialmente l'ottava parte del raggio terrestre che, come detto in precedenza, corrisponde a $405\frac{15}{22}$ mg ed è mostrata in figura 3.1.
La questione si fa più complessa negli ultimi due gradi dove sono situati, in ordine crescente di profondità: il Burrato di Gerione, le malebolge, il pozzo dei giganti e la ghiaccia dei traditori dove è situato Lucifero.
Galileo qui sviluppa con originalità il modello di Manetti che riteneva gli ultimi due gradi equidistanti. Le informazioni che il giovane pisano ricava dal testo dantesco



(a) *Larghezza della IX e X bolgia* (b) *Larghezza delle singole bolge*

Figura 3.2: In figura viene mostrata la larghezza delle bolge secondo il Manetti. L'immagine è tratta da G. Galilei e Pratesi 2011

sono che: la nona bolgia ha circonferenza pari a 22 *mg*; la decima di 11 *mg* e che quest'ultima abbia larghezza pari a $\frac{1}{2}$ *mg*.
Da questi elementi Galileo deduce che la progressione delle circonferenze delle varie bolge sia geometrica e quindi calcola che la nona bolgia sia larga $1\frac{3}{4}$ *mg*, le bolge precedente hanno quindi la stessa larghezza fino ad avere il diametro totale della prima bolgia pari a 35 *mg*, come visibile in figura 3.2.
Galileo utilizza quindi un teorema di geometria archimedea secondo cui, dati due settori circolari con medesimo angolo al centro, il rapporto tra le misure di due diversi archi di circonferenza è lo stesso che tra i rispettivi raggi che li generano.
Deduce quindi la profondità a cui si trova l'ultima bolgia, ovvero a $81\frac{3}{2}$ *mg* dal centro della Terra e quindi il Burrato di Gerione, secondo Galileo, è profondo $730\frac{5}{22}$ *mg*.
Per la misura delle larghezze dei vari gradi dell'Inferno Galileo riprende il disegno del Manetti. L'antro infernale è quindi simmetrico rispetto all'asse che va da Gerusalemme al centro della Terra. L'ingresso dell'Inferno è situato sulla circonferenza del cono con cui era stato modellizzato e dista da Gerusalemme 1700 *mg*.
Partendo dall'ingresso dell'Inferno Galileo identifica dieci archi di circonferenza consequenziali sulla superficie terrestre della lunghezza di 100*mg* da cui poi ricaverà lo spessore dei vari gradi.
Se infatti si traccia la congiungente tra gli estremi di ciascuno di questi intervalli e il centro della Terra, nel momento in cui queste linee immaginarie intersecano l'arco di circonferenza corrispondente al proprio grado essa determinerà la larghezza del grado stesso.
Se per esempio si prende il primo punto di riferimento sulla superficie terrestre, utilizzando il teorema precedentemente citato, la larghezza del limbo sarà $100(1-\frac{1}{8}) = 87,5$ *mg*.
Galileo mostra che la divisione in dieci parti del settore di circonferenza è data dal fatto che in presenza di più cerchi in ogni grado la larghezza, della proiezione in superficie, diminuisce di 100 *mg* per ogni cerchio.
Ad esempio il sesto grado è diviso nei tre gironi dei violenti ed avrà dunque larghezza pari a $3 \cdot 100(1-\frac{6}{8}) = 75$ *mg*.
La larghezza superiore delle bolge sarà quindi di 17 $\frac{1}{2}$ *mg*.
Per una visualizzazione della suddivisione dei singoli gradi e cerchi si faccia riferimento alla figura 3.3.

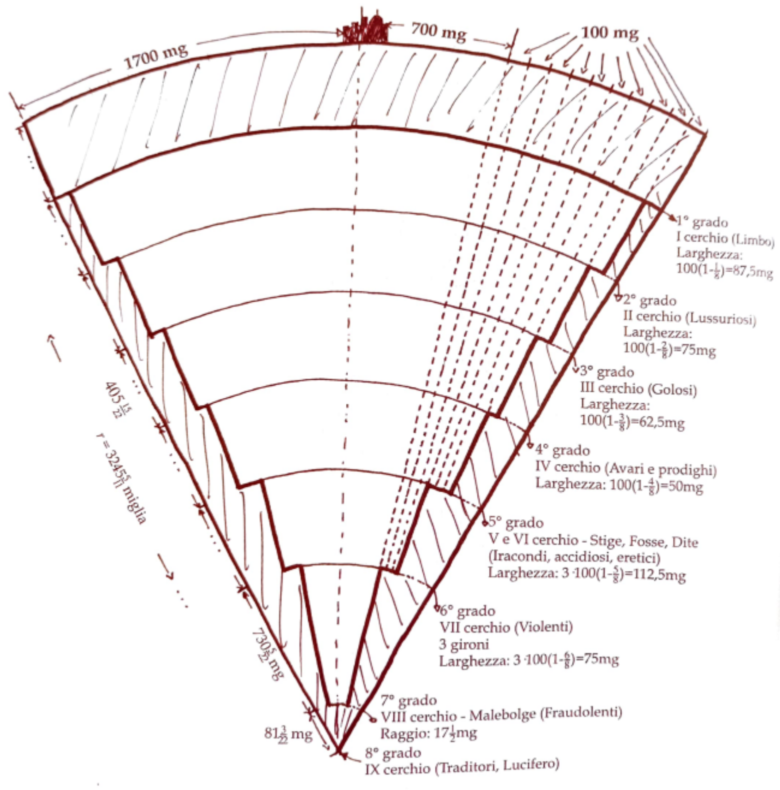


Figura 3.3: Nella figura sono delineate le considerazioni effettuate da Galileo per misurare la larghezza dei vari gradi dell'Inferno del Manetti. L'immagine è tratta da G. Galilei e Pratesi 2011

Inizia quindi l'analisi della configurazione delle Malebolge lodando la rappresentazione del Manetti definendola *"in tutto esser conforme all'idea conceputa da Dante di questo suo teatro"*.
Dal testo di Dante, Galileo ricava che il raggio del pozzo dei giganti misuri 1 *mg*, la larghezza dell'ultima bolgia è di $\frac{1}{2}$ *mg* e quindi lo spazio tra l'ultima bolgia e il pozzo misura $\frac{1}{4}$ *mg*.
Proiettando le misure del pozzo e delle bolge sulla superficie terrestre Galileo calcola che l'arco misura 700 *mg* che è esattamente la porzione rimanente dalle suddivisioni dei gradi precedenti. È quindi per l'autore una conferma evidente della corretta interpretazione del Manetti dell'idea di Dante.
Per un'esemplicazione grafica della configurazione delle bolge secondo il Manetti ci si riferisca nuovamente alla figura 3.2.
Nella seguente parte della prima lezione Galileo vuole calcolare le dimensioni delle diacce in cui sono condannati i traditori.
Galileo cita il canto XXXIV dell'Inferno che nei versi 28-33 dice:

"L'imperador del doloroso regno
Da mezzo 'l petto uscia fuor della giaccia;
E più con un gigante io mi convegno,
Ch'i giganti non fan con le sue braccia:
Pensa oramai quant'esser dee quel tutto,
Ch'a così fatta parte si confaccia."

Cita anche i versi 76-81 (Alighieri 1993):

"Quando noi fummo là dove la coscia
Si volge a punto sul grosso dell'anche,
Lo Duca con fatica e con angoscia
Volse la testa ov'egli avea le zanche,
Ed aggrappossi al pel com'uom che sale,
Sì ch'in Inferno io credea tornar anche;"

Galileo parte dall'ipotesi che Lucifero sia immerso dal petto in su nell'ultima ghiaccia e che il centro del mondo coincida con l'ombelico della creatura.
Conoscendo quindi le dimensioni di Lucifero si troverebbe la misura dell'arco dell'ultima ghiaccia.
Galileo vuole fare una proporzione tra le dimensioni di Dante, dei giganti e di Lucifero. Per avere un primo riferimento lo scienziato toscano cita dei commentatori medievali che riferiscono come Dante avesse un'altezza di 3 braccia.
Dalla prima citazione Galileo ricava che un gigante è alto quanto un braccio di Lucifero. Per trovare la relazione tra i giganti e Lucifero, Galileo cita un altro passo della Commedia, nel canto XXXI ai versi 58-60:

"La faccia sua mi parea lunga e grossa
Come la pina di San Piero a Roma;
Ed a sua proporzione eron l'altr'ossa."

La faccia a cui fa riferimento è quella del gigante Nembrot e la pigna è una scultura visibile tutt'ora in Vaticano e che Galileo riferisce essere alta $5\frac{1}{2}$ braccia.
L'autore, per ricavare le relazioni tra le varie parti del corpo, cita gli studi di Albrecht Dürer secondo cui un corpo ben proporzionato è alto nove volte la sua testa, Galileo approssima questo rapporto a otto ottenendo un'altezza del gigante di 44 braccia.
Poiché il poeta fiorentino dichiara che la sua altezza è in proporzione all'altezza di un gigante come quest'ultima lo è a un braccio di Lucifero Galileo ricava che esso sarà lungo 645 braccia.
E poiché il braccio è lungo la terza parte dell'intero corpo allora Lucifero risulta alto 1935 braccia.
Galileo approssima il risultato a 2000 braccia e misura la distanza tra l'ombelico e il petto di Lucifero in 500 braccia ottenendo così il raggio dell'ultima giaccia e quindi le altre saranno di 1000, 1500 e 2000 braccia.
La prima lezione si chiude con alcune considerazioni sparse dell'autore.
Manetti colloca la selva in cui si perde Dante all'inizio della Commedia tra Cuma e Napoli. Queste città distano da Gerusalemme con un angolo di 30° di longitudine, rendendo ragionevole l'ampiezza di 60° dell'Inferno.
Un ulteriore elemento a favore di questa ipotesi è il fatto che proprio tra Cuma e Napoli è collocato l'ingresso dell'inferno da parte della guida di Dante: Virgilio. È infatti proprio in quell'area che il poeta romano fa iniziare ad Enea il suo viaggio nell'inferno all'interno della sua opera: l'Eneide.
In conclusione Galileo fa un resoconto dei diversi cerchi descritti nel poema dantesco a cui aggiunge le misure effettuate nelle pagine precedenti e rimanda a un successivo incontro l'analisi del modello di Vellutello.
Al principio della seconda lezione Galileo decide di intraprendere un approccio differente rispetto all'analisi svolta sull'Inferno del Manetti. Lo scienziato toscano

non analizzerà nel dettaglio il modello vellutelliano ma sceglie di svolgere la sua dissertazione mostrando in quali aspetti il Manetti e il Vellutello concordino e successivamente in quali divergano.
I punti di convergenza sono sostanzialmente due: il numero di gradi e le dimensioni delle bolge. Galileo specifica che entrambe le informazioni erano state esplicitamente fornite da Dante all'interno del poema e che entrambi gli autori sono fedeli al celebre poeta medioevale su questi aspetti.
Elenca poi sette punti di discordanza:

1. La grandezza complessiva dell'Inferno;
2. Grandezze e distanze particolari con l'eccezione delle bolge;
3. Grandezza dei giganti e di Lucifero;
4. Forma delle giacce;
5. Dimensioni e posizione del castello che Dante localizza nel limbo;
6. Percorso antiorario di Dante e Virgilio per il Vellutello, orario per il Manetti;
7. Tipologia di accesso ai diversi gradi;

Galileo riferisce al pubblico che l'Inferno proposto dal Vellutello è meno della millesima parte di quello del Manetti e che il raggio del settore circolare occupato dall'architettura vellutelliana è minore della decima parte di quello terrestre. Cita quindi Euclide per dire che se l'Inferno del Vellutello fosse una sfera sarebbe meno della millesima parte di quello del Manetti.
La descrizione del secondo modello infernale parte dalle ghiacce dove è situato Lucifero. Esse sono di diametro 1 mg e di altrettanta altezza mentre lo spessore del ghiaccio è di 750 braccia. Le quattro aree del cocito sono quattro cilindri cavi concentrici che Galileo descrive come le ruote di una macina.
Il centro universale, l'ombelico di Lucifero, non coincide quindi col centro della Terra. Le bolge distano perciò dal ventre dell'angelo dannato un miglio e 750 braccia e hanno dimensioni concordi con quelle del Manetti.
Le bolge convergono verso le ghiacce per una profondità di 14 mg e hanno un diametro, nella parte superiore, di 17 $\frac{1}{2}$ mg come descritto anche dal Manetti.
Il Vellutello descrive il Burrato di Gerione come un cilindro che ha lo stesso diametro delle bolge, 17 $\frac{1}{2}$ mg, ma profondità dieci volte quella delle bolge stesse: 140 mg.
La figura 3.4 mostra una raffigurazione del pozzo dei Giganti e del Burrato secondo il Vellutello.
Sulla sommità del Burrone ci sono i cerchi dei violenti che complessivamente raddoppiano il raggio della struttura e ciascun cerchio è largo $5\frac{5}{6}mg$.
Sopra il grado dei violenti ci sono altri sei gradi, il primo dei quali contiene la città di Dite, il fiume Stige e dista 70 mg dai cerchi dei violenti, anche questa zona è un cilindro concentrico al Burrone e con l'asse lungo la congiungente tra Gerusalemme e il centro della Terra.
Il Vellutello attribuisce a questo grado una larghezza di 18 mg per un diametro complessivo di 106 mg. La salita ai gradi successivi non è ripida come le precedenti ma obliqua cosicché il diametro passa da 106 a 140 mg, allargando il raggio di 17 mg e salendo per 14 mg.
Sopra questa circonferenza vi è una regione di larghezza $\frac{1}{2}$ mg dove si trovano i

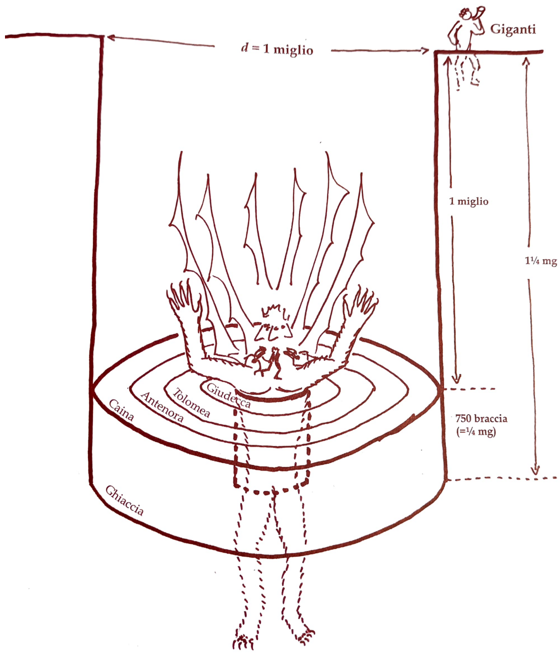


Figura 3.4: La figura rappresenta il pozzo dei Giganti e la regione del Cocito secondo Vellutello. L'immagine è tratta da G. Galilei e Pratesi 2011

prodighi e gli avari. Nello stesso modo la struttura sale fino al primo grado, quello del Limbo.
Lo spessore del Limbo è diviso a metà tra le mura della città e un prato che le circonda. La salita al livello successivo è descritta come le altre: *"ascendendo a scarpa, si alza a perpendicolo 14 miglia, allargandosi, più che nel fondo non è, miglia 17;"* Il diametro interno è quindi di 280 *mg* esattamente come la profondità misurata dal livello dell'Antinferno alle bolge. La figura 3.5 è una rappresentazione grafica dell'Inferno descritto dal Vellutello nella sua opera.
Galileo conclude qui la descrizione dell'impianto Velluteliano e introduce la parte finale delle Due Lezioni dove argomenterà quale delle due visioni sia preferibile.
Galileo decide di iniziare le sue valutazioni non riferendosi esplicitamente al testo dantesco ma *"solamente contempleremo la disposizione del tutto e de le parti, ed in somma, per così dirla, l'architettura dell'uno e dell'altro"* sceglie quindi di non usare un criterio letterario di attinenza al testo per dirimere la questione ma di utilizzare criteri legati all'architettura e alla statica dei due modelli.
La prima obiezione di Galileo è che l'inferno di Vellutello è troppo piccolo. La porzione di sfera occupata è circa $\frac{1}{30000}$ del volume terrestre ma ancora di meno è lo spazio effettivo dedicato al castigo delle anime dei dannati che quindi risulta eccessivamente angusto.
Galileo si chiede inoltre se la struttura vellutelliana sia in grado di sorreggersi. La risposta è negativa poiché *"essendo che le cose gravi, cadendo, vanno per una linea che dirittamente al centro le conduce, se in essa linea non trovano chi le impedisca e sostenga, rovinano e caggiono"*.
In termini odierni Galileo osserva che la gravità è una forza radiale e quindi le mura, parallele tra di loro, dell'Inferno di Vellutello non sarebbero state in grado di sostenersi poiché le fondamenta non sono nella direzione della forza gravitazionale.
Lo scienziato toscano rafforza la propria obiezione citando il passo If. XXXII 1-3:

"S'io avessi le rime ed aspre e chiocce,

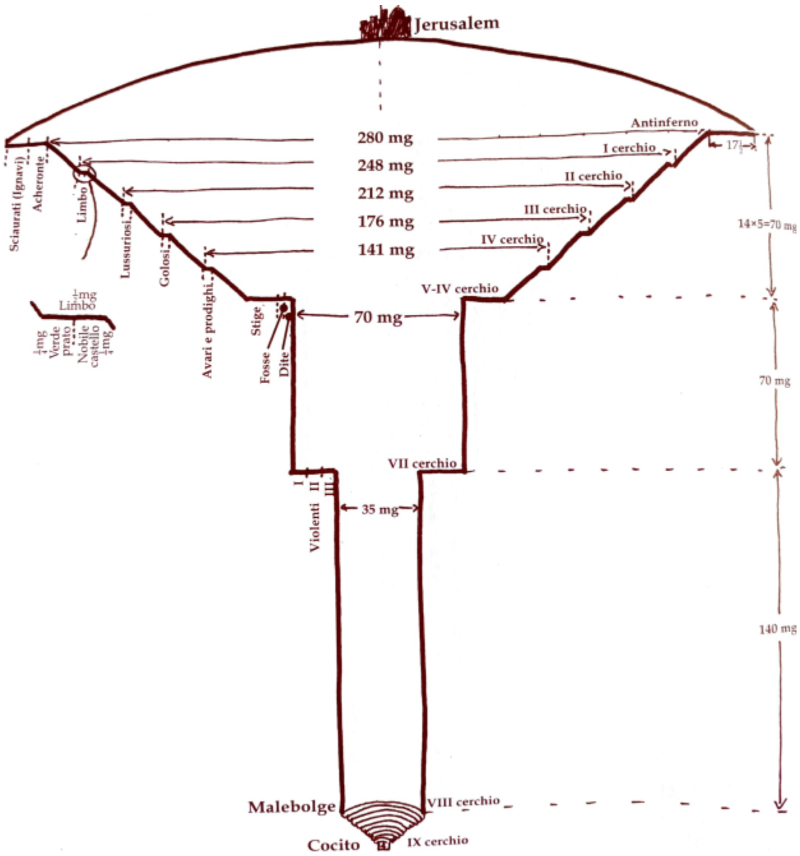


Figura 3.5: La figura rappresenta l'architettura complessiva dell'Inferno ipotizzata dal Vellutello. L'immagine è tratta da G. Galilei e Pratesi 2011

Come si converrebbe al triste buco
Sopra 'l qual puntan tutte l'altre rocce."

In questo passo il poeta esplicita come gli strati inferiori delle pareti infernali sostengano quelli superiori e ciò è impossibile nella struttura pensata da Vellutello ma è invece coerente con il modello del Manetti.
Galileo si immedesima in un commentatore che potrebbe ritenere più verosimile la struttura "a scarpa" che il Vellutello progetta per congiungere due diversi gradi mentre il Manetti non aveva analizzato questo problema.
A questa obiezione fittizia Galileo risponde che invece il testo dantesco rende questa considerazione un'ulteriore falla del modello di Vellutello.
Vengono citati alcuni passi che mostrano come le zone dove la discesa ai gradi inferiori di Dante e Virgilio è agevole sono limitate e presidiate da demoni e non una proprietà strutturale dell'architettura come era desumibile dal testo dell'autore lucchese.
Un'ulteriore elemento a favore della tesi delle dimensioni eccessivamente ridotte dell'inferno vellutelliano è dato dai tempi di percorrenza.
Viene citato il capitolo IV, versi 22-24:

"Andiam, che la via lunga ne sospinge.
Così si mise e così mi fé entrare
Nel primo cerchio che l'abisso cinge?"

Galileo sostiene che se la via che attende i due viaggiatori nel limbo è lunga lo

sarà rispetto al tragitto già percorso e ciò non è credibile nel caso delle misure del Vellutello che prevedevano il viaggio fatto nove volte maggiore del tragitto rimasto da percorrere.
Nel passaggio successivo il giovane pisano vuole dimostrare che la calotta sovrastante l'inferno del Manetti sia più che sufficientemente solida per sostenersi e non collassare.
Galileo inizia la sua argomentazione evidenziando che lo spessore della volta che copre l'Inferno sia, al massimo, l'ottava parte del raggio terrestre: 405 mg.
Immagina quindi un arco di 30 braccia di lunghezza e spessore 4 braccia che nell'esperienza comune è una struttura più che solida, non solo, lo sarebbe anche con spessore di $\frac{1}{2}$ braccia. Questa considerazione è fallace ma verrà analizzata nel dettaglio nel paragrafo 3.3.
L'autore obietta che la struttura del castello nel Limbo proposta dal Vellutello sia implausibile. È infatti impossibile che sette ordini di mura occupino solo un quarto di miglio di profondità pur estendendosi per una circonferenza di $770mg$.
Galileo elenca altre quattro ragioni che, sebbene Dante non sia esplicitamente favorevole a nessuna delle due parti, ritiene rendere il modello del Manetti preferibile.
Vellutello aveva immaginato dieci ordini di ponti per attraversare le bolge ma per Galileo sono un numero spropositato e che sia alquanto implausibile che siano collassati tutti contemporaneamente come descrive Dante nella Commedia.
Il Lucifero di Vellutello è alto 3000 braccia mentre quello del Manetti 2000, questa misura è preferibile per Galileo poiché la pigna di San Pietro era già danneggiata ai tempi di Dante e che quindi è irragionevole pensare che il poeta abbia preso come riferimento la dimensione originale e non quella effettiva della statua.
Un altro tema di discordanza è la forma delle Ghiacce: sferica per Manetti, a forma di macina per il Vellutello.
Galileo riprende il canto XXXIV, versi 116-117:

"Tu hai i piedi in su piccola sfera,
Che l'altra faccia fa della Giudecca

Con sottile ironia lo scienziato toscano evidenzia come *"non è privo di temerità il voler dire che avesser forma di macine, quasi che a un ingegno qual era quel di Dante fossero mancate parole da esprimere il suo concetto."*.
L'ultimo argomento di dibattito è il senso di percorrenza dei vari cerchi infernali da parte di Dante e Virgilio. Galileo ritiene non particolarmente interessante questo dibattito, nonostante ritenga meno artificiosa l'idea del Manetti, e lascia quindi sospesa la valutazione.
Galileo conclude infine l'opera dichiarando che, nonostante la bassezza del suo ingegno, sia riuscito a espletare il suo compito: difendere il Manetti e l'Accademia Fiorentina dalle calunnie *"ingiustamente sopra tal materia ricevute"*.

3.2 Le influenze del contesto nelle Due Lezioni

Nel presente paragrafo si andranno ad evidenziare gli elementi della scienza cinquecentesca individuabili nelle Due Lezioni mettendo quindi in risalto la contemporaneità delle ipotesi galileiane ponendole in correlazione con altre opere dello stesso scienziato toscano.

Figura 3.6: In figura è mostrato il disegno raffigurante il modello del Manetti in un'edizione cinquecentesca. L'immagine è tratta da G. Galilei e Pratesi 2011

3.2.1 Geodesia

Il primo aspetto che verrà analizzato nel presente paragrafo è quello che concerne le conoscenze galileiane in ambito geodetico. La prima domanda a cui si vuole rispondere è: quali sono le fonti di Galileo sulle misure della Terra?
Le fonti primarie per Galileo nel suo percorso analitico all'interno delle Due Lezioni sono direttamente i testi del Manetti e del Vellutello poiché nei loro testi erano presenti le metrature delle loro architetture. Ciò è visibile anche nelle figure 3.6 e 3.7 dovo sono presenti due illustrazioni tratte da edizioni cinquecentesche dei due commenti alla Commedia in cui sono evidenti le misure delle due strutture direttamente sul disegno.
Al momento di confrontare le architetture del Manetti e del Vellutello all'interno delle Due Lezioni Galileo non segnala tra i punti di concordanza quello legato alla coincidenza delle misure della Terra nelle due opere.
Ciò può lasciar intendere che la misura di 3400 miglia per un sesto della circonferenza terrestre fosse una misura non discutibile e ottenuta da una fonte autorevole. L'ipotesi più plausibile è che questa misura sia tratta direttamente da Dante che nel Convivio cita al-Farghānī e dichiara che la circonferenza terrestre sia di 20.400 miglia come descritto nel paragrafo 2.3.1. Essendo Manetti, Vellutello e Galileo degli studiosi e profondi conoscitori dell'opera del poeta fiorentino si può desumere che sia Dante stesso la fonte comune per quanto riguarda la misura della circonferenza terrestre.
Essendo la Commedia di Dante il tema delle Due Lezioni appare alquanto naturale che Galileo si riferisca al poeta medioevale come riferimento anche per gli aspetti scientifici ciò però non garantisce che quella dantesca sia l'unica fonte degli studi galileiani sulla materia.
Galileo tratta questo tema anche in un'opera di poco successiva alle Due Lezioni: il *Trattato della Sfera* o *Cosmografia*.
L'attribuzione di questo testo a Galileo è stata travagliata ma si tratta di un com-

Figura 3.7: In figura è mostrata un'immagine dell'Inferno di Vellutello in un'edizione del suo commento del 1544. L'immagine è tratta da G. Galilei e Pratesi 2011

pendio delle lezioni tenute dallo scienziato toscano nei suoi anni pisani e padovani. È un testo in cui viene presentata una visione tolemaica dell'universo, con un sistema geocentrico e le sfere concentriche dei quattro elementi aristoteliche. Interessante risulta l'introduzione dell'opera in cui Galileo definisce i quattro strumenti per la sua indagine: le osservazioni sensate, le ipotesi, le dimostrazioni geometriche e le operazioni aritmetiche.
Non è lo scopo della presente Tesi illustrare l'opera nel dettaglio ma l'elemento di nostro maggior interesse è quello che ha portato alcuni studi a collegare questo testo all'opera di uno dei più celebri commentatori del XVI secolo del Sacrobosco: Cristoforo Clavio (Lattis 1994).
Cristoforo Clavio fu un matematico e astronomo tedesco del '500 e tra le sue opere più celebri vi è il commento al *De Sphaera* di Giovanni Sacrobosco.
Lo studio di Galileo dei commentari al celebre scienziato medioevale non sono testimoniati solamente dagli studi moderni sull'opera di Clavio ma è lo stesso Galileo a farne menzione all'interno dei Discorsi e Dimostrazioni in cui dice: *[...]di che mi ricordo averne con gusto particolare veduta la dimostrazione studiando la Sfera del Sacrobosco con un dottissimo commentario sopra.*
Le Due Lezioni e il Trattato della Sfera mostrano come a distanza di pochi anni Galileo sia allo studio di alcuni dei più autorevoli studiosi del suo tempo e che quindi sin da giovane lo scienziato toscano abbia mostrato interesse e dedizione per quella disciplina di cui diverrà uno dei più celebri rappresentanti.

3.2.2 Unità di misura

L'intero ragionamento proposto da Galileo nelle Due Lezioni si appoggia uno strumento fondamentale per dare un supporto quantitativo alle affermazioni proposte: le unità di misura.
In particolare, all'interno dell'opera vengono principalmente citate il braccio e il miglio. Poiché Dante, il Manetti e Galileo erano tutti e tre residenti a Firenze è lecito assumere che si tratti di braccio e miglio fiorentino.
Nell'Inferno di Dante in realtà non è mai menzionato il braccio come unità di misura ma solo il miglio ha dei riferimenti espliciti come nei versi 81-86:

"S'io fossi pur di tanto ancor leggero
ch'i' potessi in cent'anni andare un'oncia,
io sarei messo già per lo sentiero,
cercando lui tra questa gente sconcia,
con tutto ch'ella volge undici miglia"

È il miglio che viene dunque ripreso dal Manetti e dal Vellutello nelle loro critiche alla Commedia, sono infatti i riferimenti espliciti alle misurazioni all'interno del poema a fare da elemento fondante per le due architetture cinquecentesche.
Entrambi i critici citano nelle loro opere il tasso di conversione in cui un miglio equivale a tremila braccia, nessuno dei due esplicitamente riferisce la differenza tra braccio da panno e braccio da terra, come descritto nel paragrafo 2.3.2, anche se gli studiosi riferiscono che fosse il braccio da terra il sottomultiplo del miglio fiorentino (Uzielli 1899).
Questa tesi pare essere confermata anche dal Manetti che nel suo commento scrive (Benivieni 1897): *"che è braccia quattromila, ciò è migla uno et [un terzo], pur meno qualche poco che si può male arbitrare, ma non porta"*
Si può dedurre come per comodità il Manetti non converta precisamente in braccia da terra ma preferisca un'approssimazione del braccio da panno che gli studiosi riferiscono essere maggiormente diffuso nella popolazione rinascimentale e quindi più comprensibile per il suo pubblico (Uzielli 1899).
Il braccio diventa quindi lo strumento che Manetti, Vellutello e Galileo adoperano per le misure più ridotte. In particolare per le figure umane o simili come i giganti e Lucifero sebbene Dante non abbia mai dato indicazioni quantitative e infatti questo è uno dei temi di principale discordia come descritto nel paragrafo 3.1.
Si può notare che tra Dante e Galileo siano trascorsi circa tre secoli e che quindi ci si possa interrogare se le unità di misura fiorentine si siano alterate. Se sicuramente questo non è avvenuto per la terminologia non è scontato che questo sia accaduto anche per il valore quantitativo delle stesse.
In alcuni testi del 1357 relativi alla costruzione del Duomo di Firenze veniva indicata la distanza tra due colonne in braccia. Alcuni studiosi del XIX secolo hanno ripetuto la misura adoperando il sistema metrico decimale e, utilizzando il tasso di conversione degli editti Lorenesi del 1808 ha trovato un valore trecentesco del braccio di 0,5835 m, confrontabile col valore tabulato del braccio da panno di 0,5836 m dei documenti ufficiali del XIX secolo (Uzielli 1899).
Questi studi lasciano intendere che il braccio fiorentino sia rimasto immutato nei secoli anche nel suo valore quantitativo e che quindi Galileo non abbia avuto bisogno di maggior spiegazioni su questo tema poiché Dante, Manetti, Vellutello e il suo pubblico utilizzavano le stesse unità di misura.
L'attenzione di Galileo per le unità di misura si può mettere in risalto prendendo in

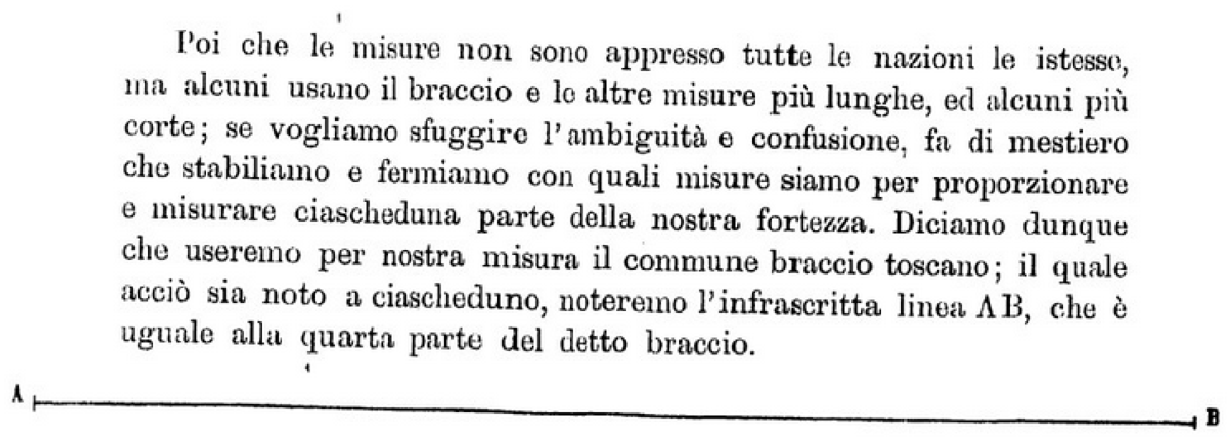

Poi che le misure non sono appresso tutte le nazioni le istesse, ma alcuni usano il braccio e le altre misure più lunghe, ed alcuni più corte; se vogliamo sfuggire l'ambiguità e confusione, fa di mestiero che stabiliamo e fermiamo con quali misure siamo per proporzionare e misurare ciascheduna parte della nostra fortezza. Diciamo dunque che useremo per nostra misura il commune braccio toscano; il quale acciò sia noto a ciascheduno, noteremo l'infrascritta linea AB, che è uguale alla quarta parte del detto braccio.

Figura 3.8: In figura è mostrata una porzione della pagina 102 del volume II dell'edizione del Favaro in cui viene mostrata l'unità di misura di riferimento nel *Trattato di Fortificazione*. L'immagine è tratta da Bibliothèque nationale de France 1891

considerazione uno dei suoi trattati ingegneristici giovanili: il *Trattato di Fortificazione*
Nell'Edizione Nazionale il Favaro riferisce come il manoscritto originale non sia mai pervenuto a noi ma che fosse un trattato utilizzato nei primi anni padovani di Galileo o durante i suoi insegnamenti privati (Bibliothèque nationale de France 1891).
Il tema di quest'opera sono le fortificazioni e gli edifici militari, ma essendo un trattato tecnico Galileo si preoccupa per la conversione tra l'unità di misura da lui utilizzata, il braccio fiorentino, e l'unità di misura corrente nel territorio del suo lettore.
Andando infatti a misurare il segmento presente sul Trattato di Fortificazione si ottiene una misura di 0,1455 m che moltiplicandolo per quattro si ottiene 0,582 m confrontabile col braccio da panno fiorentino.
Utilizza quindi uno stratagemma diffuso nella letteratura scientifica del tempo, inserendo all'interno dell'opera una linea che corrispondeva precisamente a un quarto del braccio da lui adoperato come visibile nella figura 3.8 che ne riporta l'estratto del disegno e dell'annotazione galileiana.
Una particolarità è che questa figura è presente nelle edizioni fino a quella nazionale del Favaro ma poi scompare, probabilmente anche per la difficoltà tipografica data dalla variazione del formato delle pagine di stampa (Bibliothèque nationale de France 1891).
Da questo confronto tra le Due Lezioni e il Trattato di Fortificazione si vede come Galileo sia sempre attento al pubblico a cui si rivolge. È di formazione non scientifica e tipicamente fiorentino il fruitore della prima opera mentre il lettore del trattato sarà più probabilmente un tecnico e non necessariamente un suo compatriota. Affinché il suo messaggio non perda nè di rigore ma neanche di efficacia lo scienziato toscano modifica quindi il proprio registro argomentativo dimostrando una grande competenza non soltanto nella scienza in sè ma anche nella sua comunicazione.

3.2.3 Statica

Nel presente paragrafo verranno messi in evidenza gli elementi della statica cinquecentesca che Galileo adopera nella sua analisi e nelle sue considerazioni riguardo alla struttura dell'Inferno pensate dal Manetti e dal Vellutello.

Nelle Due Lezioni sono sostanzialmente due i problemi di statica trattati dal suo autore: il sostegno delle pareti infernali e la stabilità della volta che sovrasta il primo regno ultramondano.
Galileo in quest'opera sostiene le tesi tolemaiche e infatti dichiara esplicitamente come: *"[...] dal centro della grandezza della terra (il quale è ancora centro della gravità e dell'universo)"*.
Per lo scienziato toscano è quindi il nostro pianeta a trovarsi al centro dell'universo. Da questa considerazione consegue che, essendo la Terra una sfera, il suo centro geometrico coincide col centro fisico. Questa considerazione sfavorisce l'interpretazione vellutelliana agli occhi dell'autore delle Due Lezioni poiché l'ombelico di Lucifero, centro universale, non coincide col centro geometrico della Terra.
Nelle pagine successive Galileo cita le sue due fonti principali: Archimede ed Euclide. Se Euclide viene citato in maniera naturale dall'autore come fonte a supporto delle sue argomentazioni lo stesso non vale per lo scienziato siracusano.
Galileo infatti scrive: *"Ma volendo sapere la sua grandezza rispetto a tutto l'aggregato dell'acqua e della terra, non doviamo già seguitare la opinione di alcuno che dell'Inferno abbia scritto, stimandolo occupare la sesta parte dello aggregato; però che, facendone il conto secondo le cose dimostrate da Archimede ne i libri Della sfera e del cilindro"*.
Archimede è quindi per Galileo maggiormente autorevole rispetto agli altri studiosi a lui contemporanei che non ritiene nemmeno meritevoli di una citazione. Come è stato descritto nel paragrafo 1.4 gli scritti dello scienziato siciliano non erano altamente diffusi e solo in questo periodo stavano venendo riscoperti in ambito scientifico.
Il contenuto fisico più significativo per la presente analisi viene introdotto da Galileo nella parte conclusiva dell'opera dove decide di non utilizzare unicamente le parole di Dante nelle sue analisi ma vuole vedere *"se tal fabbrica può reggersi"* e quindi vuole affidarsi alle sue conoscenze nella scienza delle costruzioni.
Il primo confronto tra l'autore fiorentino e quello lucchese si basa sulla struttura delle mura infernali: situate lungo la direzione radiale per il Manetti mentre per il Vellutello sono parallele tra loro come dalle figure 3.3 e 3.5.
Per argomentare la sua analisi Galileo cita lo stesso Dante che, come è stato detto nel paragrafo precedente, nei versi 1-3 del canto XXXII dell'Inferno dice:

"S'io avessi le rime ed aspre e chiocce,
Come si converrebbe al triste buco
Sopra 'l qual puntan tutte l'altre rocce."

Galileo rafforza, con l'aiuto del testo dantesco, l'idea che le mura abbiano bisogno di un sostegno fisico per reggersi in piedi e questo avviene solo nel caso della struttura manettiana.
Lo scienziato toscano infatti è ben cosciente che gli oggetti cadano verso il centro della Terra, in termini moderni si direbbe che per Galileo era noto che la forza di gravità abbia direzione radiale. Questa considerazione lo porta a screditare il Vellutello poiché nel suo modello le mura sono parallele tra loro e quindi la parte superiore rimarrebbe priva di sostegno e di conseguenza sarebbe destinata a crollare.
Questo collasso è impedito nel modello manettiano poiché il muro è disposto lungo la direzione della forza di gravità e quindi la parte inferiore delle mura funge da sostegno per la porzione superiore.
Dice infatti Galileo parlando della struttura del Vellutello: *"se, per essempio, noi tiriamo dalla città di Dite linee sino al centro, queste non troveranno impedimento*

alcuno, onde essa città, avendo la scesa libera e non impedita, trovandosi sotto priva di chi la regga, indubitatamente rovinerà; ed il simile farà ancora il grado de i violenti, sendo fondato sopra mura i cui perpendicoli da quelli che vanno dirittamente al centro si discostano; e rovinando questi, rovineranno ancora tutti gli altri gradi superiori, che sopra questi si appoggiano.".
E poco dopo aggiunge: *"Se dunque sopra questa buca puntano e si sostengono le altre rocce, è necessario che le mura che le deono sostenere non siano fuori del perpendicolo che tende al centro. Questo inconveniente non è nell'architettura del Manetti, atteso che ponga tutte le ripe e le mura diritte verso 'l centro, come nel disegno si vede.".*
L'argomentazione galileiana si basa quindi su un assunto che è rimasto intatto fino ai giorni nostri nella sua capacità descrittiva, seppur profondamente modificato nelle ragioni che portano alla sua formulazione: i corpi tendono a cadere verso il centro della Terra.
Nella fisica aristotelica questo fenomeno era giustificato con la tendenza dei corpi verso il proprio luogo naturale e quindi gli oggetti come le mura tendevano verso il luogo della terra, la più interna delle sfere aristoteliche, in particolare verso il centro geometrico del nostro pianeta.
Questa importanza della geometria all'interno della fisica ricorre anche nell'altra considerazione galileiana che prenderemo in esame: la capacità di sostegno della calotta infernale.
Galileo nel suo confronto tra i due commentatori della Commedia decide di rispondere alle obiezioni di coloro i quali ritenevano troppo spessa e pesante la calotta manettiana che avrebbe dovuto estendersi con un diametro pari al raggio terrestre.
Galileo ritiene *"che tal grossezza è suffizientissima"* e utilizza una relazione geometrica per validare il suo assunto. Lo scienziato toscano ipotizza un modellino in scala ridotta che è capace di sostenere una tale calotta e che quindi ingrandendosi la stabilità strutturale sarebbe stata preservata.
Questo ragionamento è fallace e verrà descritto più nel dettaglio nella sezione 3.3, quello che però è interessante osservare è come anche un discorso in ambito fisico, come la statica di un edificio, era da affrontarsi tramite un approccio geometrico secondo la cultura scientifica aristotelica cinquecentesca in cui Galileo è pienamente inserito.

3.3 Lo sviluppo teorico nei *"Discorsi e Dimostrazioni"*

I *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali* sono l'ultima opera di Galileo Galilei pubblicata nei Paesi Bassi nel 1638.
In questa opera un Galileo ormai anziano, debilitato fisicamente e recluso nella sua villa di Arcetri ha prodotto gli ultimi risultati scientifici della sua gloriosa carriera.
Le due nuove scienze a cui il titolo fa riferimento sono la capacità dei materiali di resistere alle fratture e i moti locali. Si tratta quindi di un'opera sulla meccanica, evitando così i conflittuali temi astronomici che lo avevano portato alle vicende giudiziarie descritte in precedenza nel paragrafo 2.1.
I Discorsi e Dimostrazioni sono un'opera esclusivamente fisica, precorritrice della letteratura scientifica moderna dove vengono presentati i risultati che sono il frutto

degli ultimi anni di lavoro dello scienziato toscano. La forma narrativa scelta dall'autore è quella del dialogo in quattro giornate, o cinque a seconda dell'edizione, tra i tre personaggi già presenti nel Dialogo sopra i Massimi Sistemi: Simplicio, Salviati e Sagredo.
Come nell'opera precedente Simplicio è il portatore delle istanze aristoteliche anche se in questa opera la sua figura è meno caricaturale. Salviati è la voce di Galileo all'interno dell'opera mentre Sagredo è il mediatore tra queste due posizioni ed è il personaggio che mette in evidenza gli aspetti di maggior novità delle nuove scoperte.
All'interno del presente lavoro di Tesi avranno maggior risalto le prime due giornate in cui vengono trattate le tematiche legate alla statica e alla scienza delle costruzioni.
Nel confronto con le Due Lezioni appaiono immediatamente evidenti due differenze: la finalità dell'opera e il registro narrativo.
Le Due Lezioni sono un testo di critica letteraria in cui le considerazioni scientifiche sono uno strumento retorico a sostegno di un'argomentazione. È presente una forte impronta politica e l'autore ha la necessità di prendere una posizione all'interno di un dibattito.
L'opera è inoltre una presentazione davanti a un pubblico non necessariamente formato e quindi l'efficacia comunicativa prevale talvolta sulla completezza delle argomentazioni. È fortemente diffuso l'utilizzo di ironia come strumento retorico e non mancano affermazioni manifestamente atte al cogliere la benevolenza del pubblico e delle istituzioni.
I Discorsi e Dimostrazioni sono invece un testo in cui è evidente l'intenzione del proprio autore di presentare ad un pubblico, se non esperto sicuramente interessato, le sue ultime ricerche scientifiche e quindi il fine ultimo è principalmente la divulgazione di contenuti scientifici.
Per fare ciò Galileo ripropone lo strumento del dialogo, usato in opere precedenti, al fine di evidenziare le diverse posizioni che convergono nell'idea dell'autore che utilizza il rigore matematico, formale e argomentativo per sostenere le proprie tesi.
Le osservazioni sul mondo naturale sono accompagnate da disegni, puntuali descrizioni del percorso logico che hanno portato l'autore alla formulazione e alla verifica delle proprie idee. Si tratta dunque di un testo divulgativo e quasi esclusivamente scientifico e in cui il tema principale è l'innovazione di quella disciplina che oggi chiamiamo meccanica.
In quest'opera non mancano i riferimenti letterari in particolare celebre è la citazione dell'Ariosto: *"[...] il che forse fu avvertito dal mio accortissimo Poeta, mentre descrivendo un grandissimo gigante disse:*

Non si può compatir quanto sia lungo,
Sì smisuratamente è tutto grosso."

Anche in questa opera è quindi evidente la profonda cultura letteraria di Galileo che associa a una rigoroso e innovativo approccio matematico e sperimentale le influenze di un fine letterato.
Il passo delle Due Lezioni che verrà smentito da Galileo nei Discorsi e Dimostrazioni è il seguente: *"Qui ci potrebbe essere opposto che né l'Inferno si deve credere esser così grande come il Manetti lo pone; essendo che, sì come alcuni hanno sospettato, non par possibile che la volta che l'Inferno ricuopre, rimanendo sì sottile quant'è di necessità se l'Inferno tanto si alza, si possa reggere, e non precipiti e profondi in esso Inferno; e massime, oltre al rimanere non più grossa dell'ottava parte del*

semidiametro, che sono miglia 405 incirca, essendovi ancora da levarne per lo spazio della grotta degli sciagurati, ed essendoci molte gran profondità di mari. Al che facilmente si risponde, che tal grossezza è suffizientissima: perciò che, presa una volta piccola, fabricata con quella ragione, se arà di arco 30 braccia, gli rimarranno per la grossezza braccia 4 in circa, la quale non solo è bastante, ma quando a 30 braccia di arco se gli desse un sol braccio, e forse $\frac{1}{2}$, non che 4, basteria a sostenersi; onde, sapendo noi che pochissime miglia, anzi che meno di un sol miglio, si profondano i mari, se creder doviamo a i più periti marinari, e potendo assegnare quante miglia ci pare per la grotta de gli sciagurati, non essendogli data dal Poeta determinata misura, quando ancora ponessimo tra questa e la profondità de i mari importare 100 miglia, nulla di meno rimarrà detta volta grossissima, e più assai che non è necessario per sostenersi."

In questo passo delle Due Lezioni Galileo riferisce che l'arco dell'Inferno è spesso al massimo $\frac{1}{8}$ del raggio terrestre, ovvero circa 405 miglia, a cui andranno tolte le profondità del mare e renderlo ancora più sottile. Per dimostrare l'integrità strutturale di un simile arco l'autore cita che per un diametro di 30 braccia si dovrebbe verificare la solidità di un guscio spesso 4 braccia. Lo scienziato non solo afferma che questo è possibile ma che è anche sovrabbondante, poiché sarebbe bastato un arco di 1 o addirittura $\frac{1}{2}$ braccio.

Il ragionamento che il giovane Galileo compie si fonda quindi sulla similitudine geometrica tra l'inferno del Manetti e una struttura ideale che però per il suo uditorio era immaginabile.

Alcuni studiosi hanno identificato questa similitudine come un riferimento alla cupola del Duomo di Firenze progettata e costruita da Filippo Brunelleschi che era sicuramente riconoscibile per il pubblico delle lezioni galileiane e che rappresentava un prodigio di scienza delle costruzioni per l'innovativa soluzione architettonica al problema del sostegno e costruzione della cupola (Vespri 2020).

Questa considerazione è fisicamente sbagliata poiché la resistenza alla rottura, a parità di materiale, dipende dalla sezione dell'arco e mentre la massa dipende dal volume dell'arco, in conclusione, a parità di materiali e di geometria, all'aumentare delle dimensioni la capacità di resistenza dell'arco diminuisce.

Galileo affronta questo tema sin dalle prime pagine dei Discorsi e Dimostrazioni. Salviati e Sagredo nelle prime battute osservano come nei cantieri veneziani le impalcature che sorreggono le piccole navi siano abbiano dimensioni proporzionalmente molto minori rispetto a quelle delle navi più grandi. È lo stesso Sagredo ad essere sbalordito poiché convinto che la proporzione geometrica basti a conservare le proprietà statiche, in questo caso delle barche.

Salviati introduce il compare al fatto che il problema non sia legato al deterioramento dei materiali o a limiti umani nelle grandi costruzioni ma che sia insito nella materia e nella geometria, che occorra quindi una soluzione matematica. Per validare questa affermazione Salviati propone un esperimento mentale in cui viene immaginata una trave incernierata in un estremo a una parete e parallela al terreno. Sia inoltre del peso tale per cui un'eventuale allungamento, *"allungata un pelo più"* dice Galileo, ne causerebbe il collasso. Ecco, a questo punto Salviati conclude che non esiste nessuna trave reale che abbia le stesse proporzioni che conservi questa proprietà. Una trave più grande collasserebbe, una più piccola sarebbe in grado di potersi allungare ulteriormente.

La discussione del primo giorno prosegue su altri temi ma questo problema verrà ripreso più nel dettaglio all'inizio della seconda giornata e verrà coinvolto anche Simplicio.

Salviati introduce il discorso citando la legge delle leve. Già da questo inizio si possono notare due cose interessanti: L'esplicitazione di Aristotele e Archimede come precursori e l'espressione delle leggi fisiche tramite proporzioni e rapporti da parte di Galileo il quale infatti dice che: *"[...] nell'uso della leva la forza alla resistenza ha la proporzion contraria di quella che hanno le distanze tra 'l sostegno e le medesime forza e resistenza"*..
Salviati introduce il tema secondo cui una trave resiste a forze di trazione molto maggiori di quelle di flessione in proporzione del rapporto tra lunghezza e spessore. Una proporzione molto utile alla nostra descrizione è quella che dice: *"I prismi e cilindri di diversa lunghezza e grossezza hanno le lor resistenze all'esser rotti di proporzione composta della proporzione de i cubi de' diametri delle lor basi e della proporzione delle lor lunghezze permutatamente prese."* In termini moderni (De Angelis et al. 2021) si ha che

$$M_{\max} \propto \frac{h^3}{l} \tag{3.3}$$

Dove $M_{\max}$ è il momento massimo tollerabile dal prisma o dal cilindro, h è lo spessore dell'asta e l la sua lunghezza.
È proprio a seguito di questa proposizione che Simplicio accoglie la tesi di Salviati nonostante gli risultasse inizialmente controintuitiva. Lo stesso Salviati rivela ai suoi compari, con tono quasi fraterno, che anche lui inizialmente riteneva che la similitudine geometrica preservasse la capacità di sforzo. Fu invece l'osservazione della caduta da grandi altezze di oggetti di diverse dimensioni a fargli cambiare idea. Grandi colonne si fracassavano mentre invece piccoli oggetti rimanevano illesi. Viene anche citato Aristotele e le sue Questioni Meccaniche in cui per primo osservò che travi più lunghe erano meno resistenti di travi più corti.
Si arriva quindi alla dimostrazione conclusiva di questo tema che lo stesso Galileo, tramite Salviati, ci riferisce essere laboriosa e che gli ha richiesto molto tempo, la domanda è infatti: dato un primo cilindro al limite massimo di tolleranza del proprio peso e un secondo cilindro di lunghezza maggiore trovare lo spessore del secondo cilindro.
Esprimendo in termini contemporanei (De Angelis et al. 2021):

$$h' = h\sqrt[3]{\frac{l'}{l}} \tag{3.4}$$

dove h e l sono l'altezza e la lunghezza del primo cilindro mentre h' e l' quelle del secondo.
Galileo evidenzia che quindi le strutture umane abbiano un limite di portata data una struttura simile e che questo vale anche per gli esseri viventi. Un ipotetico gigante per mantenere le proporzioni di un uomo dovrebbe essere fatto o di materiali più leggeri oppure più resistenti.
Cita infatti l'Ariosto che prima di lui si era accorto del problema e Galileo disegna, come in figura 3.9, un osso con proporzioni umane uno lungo tre volte tanto e capace di sostenere tre volte il peso di quello più piccolo.
Nell'opera Galileo non cita mai le Due Lezioni, sulle motivazioni di questa scelta si è già discusso nel paragrafo 1.2, ma ci sono alcune tracce che fanno pensare che le avesse ben in mente durante la stesura dei Discorsi e Dimostrazioni.
Un primo elemento è la ricorrenza del tema e di come le argomentazioni di Sagredo e Simplicio, corrette da Salviati, siano le stesse adoperate da Galileo nelle Due Lezioni. Lo stesso Salviati, voce di Galileo, riferisce di essere stato in passato un sostenitore della natura geometrica della legge di scala.

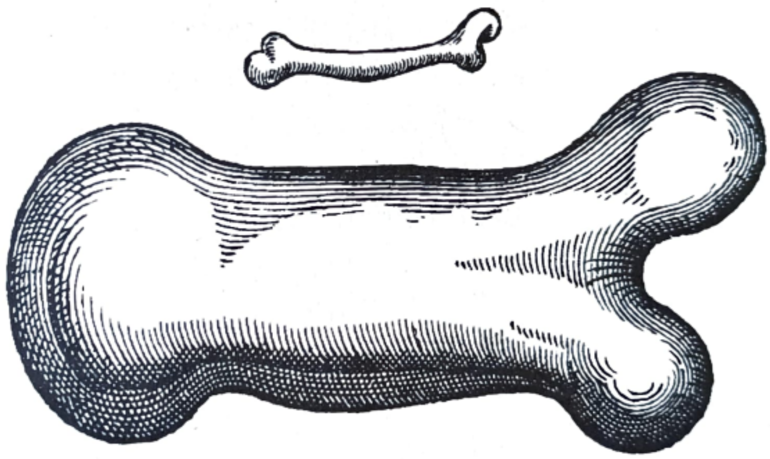


Figura 3.9: In figura sono presentati i disegni di Galileo per mostrare la differenza di proporzioni tra un osso con le proporzioni umane e uno ingrandito tre volte. L'immagine è tratta da De Angelis et al. 2021

Una seconda traccia concerne il discorso sull'anatomia dei giganti, nelle sue misurazioni di Lucifero durante le Due Lezioni Galileo assume che le proporzioni dei giganti e di Lucifero siano le medesime di quelle umane mentre in quest'opera confuta decisamente questa ipotesi.
Sebbene lo stesso Galilei non abbia mai dato grande rilievo alle sue Due Lezioni non è infondato vedere una traccia che questo lavoro abbia lasciato nel pensiero del grande scienziato toscano specialmente nella sua opera più matura e scientificamente più avanzata dando così il via alla ricerca di uno dei più importanti uomini di scienza d'Italia ma non solo.

Capitolo 4

Riflessioni e conclusioni

Si conclude in questo paragrafo il presente lavoro di Tesi.
Ripercorrendo il percorso svolto in questo elaborato il primo lavoro compiuto è stata la raccolta dei contributi in letteratura riguardo le Due Lezioni e il ruolo di quest'opera nel corpus galileiano illustrando infine quali fossero le domande che hanno guidato questa ricerca.
Nel capitolo 2 è stato illustrato il contesto in cui l'opera è sorta descrivendo la biografia di Galileo, il dibattito a Firenze sulla struttura infernale e lo stato degli studi in geodesia, unità di misura e statica alla fine del XVI secolo.
Nel capitolo 3 sono state mostrate la lettura da parte di Galileo delle opere del Manetti e del Vellutello, le influenze scientifiche presenti nelle Due Lezioni e il rapporto di quest'opera coi Discorsi e Dimostrazioni.
Nel paragrafo 1.5 erano state illustrate le domande di ricerca a cui il presente lavoro ha tentato di rispondere. Riprendendole:

1. In che senso Galileo Galilei può essere visto come un esempio di umanista rinascimentale?

2. Le Due Lezioni possono essere considerate un passo iniziale del percorso di maturazione scientifica di Galileo?

3. Che informazioni ci danno le Due Lezioni sulle abilità comunicative di Galileo?

Galileo è stato un importantissimo scienziato nella storia dell'uomo, una di quelle figure cardine della scienza contemporanea e uno dei primi scienziati moderni.
Lo scienziato toscano è però anche un uomo fortemente del proprio tempo. La sua formazione non è limitata all'ambito della sua futura professione ma è estremamente solida anche nelle arti figurative, che sono testimoniate dal grande utilizzo di disegni mirabili come quelli in figura 3.9.
Rimane così un elemento di incompletezza dovuto alla perdita delle figure adoperate durante le Due Lezioni a cui fa continuamente nell'opera e rimangono comunque celebri i suoi disegni come quelli delle fasi lunari presenti nel Sidereus Nuncius.
Galileo è però anche un profondo e appassionato uomo di lettere. La sua passione è testimoniata dai suoi commenti all'Ariosto e al Tasso ma in particolare nelle Due Lezioni mostra una profonda analisi e un fervente studio della Commedia di Dante, imprescindibile per poter compiere una così profonda analisi dell'opera e forse inaspettata alla luce della concezione contemporanea dell'uomo di scienza.
Sicuramente Galileo è una persona coinvolta nelle dinamiche sociali del suo tempo e della sua città. La sua figura pubblica e i suoi legami con le autorità lo rendono

sin dalla giovane età profondamente inserito nel dibattito culturale del tardo cinquecento fiorentino e le sue Due Lezioni ne sono un contributo mirabile.
Galileo è però anche uno scienziato del suo tempo, conosce la scienza a lui contemporanea, come l'astronomia tolemaica, ma anche quella antica in particolare Euclide ma anche il meno conosciuto Archimede.
È un profondo conoscitore della fisica aristotelica e del suo potere descrittivo della realtà. Galileo ritiene l'eredità aristotelica talmente potente che il giovane scienziato toscano la ritiene lo strumento più efficace per dirimere anche una delicata diatriba letteraria.
Queste riflessioni ci conducono a rispondere alla seconda domanda di ricerca del presente lavoro. Relativamente a questo punto la Tesi ha mostrato come le Due Lezioni contengano l'embrione di varie tematiche presenti negli studi scientifici più maturi di Galileo.
Lo scienziato toscano approfondirà nei suoi trattati successivi gli studi sulla misurazione della Terra, consulterà altre autorevoli fonti mostrando la sua capacità di evolversi e aggiornarsi nello studio di un settore disciplinare.
Galileo riconoscerà il ruolo fondamentale delle unità di misura all'interno della comunicazione scientifica e introdurrà quindi la possibilità di conversioni delle unità di misura galileiane con quelle locali dei lettori delle sue opere. Questo permetterà una maggior diffusione dei suoi trattati evitando pericolose ambiguità e universalizzando le sue scoperte.
L'esempio più evidente della fecondità delle Due Lezioni è probabilmente quello relativo ai suoi studi di statica. Seppur sbagliate le sue considerazioni nel commento al Manetti e al Vellutello sono coerenti e ragionevoli secondo le conoscenze del tempo e ci permettono di cogliere ancora di più l'innovazione e l'importante passo svolto coi suoi Discorsi e Dimostrazioni.
È infatti in quest'opera che Galileo mostra i risultati di maggior avanguardia e nonostante la scarsa diffusione delle Due Lezioni è il confronto con quest'opera giovanile che ha permesso al giovane scienziato di studiare il tema e a noi di poter cogliere l'avanzamento delle conoscenza scientifiche in questo settore di studio.
Un ultimo aspetto che è stato possibile mostrare e apprezzare nella presente Tesi è quello delle qualità di comunicatore di Galileo.
Lo scienziato toscano è noto per essere uno dei più alti esempi di letteratura scientifica e per aver elevato il rigore matematico all'interno della trattatistica delle scienze naturali.
Nelle Due Lezioni è possibile individuare un Galileo che è molto attento alla comprensione da parte del suo pubblico del suo messaggio. Utilizza l'ironia e non eccede nel tecnicismo senza però perdere di rigore poiché il suo pubblico non è formato scientificamente. È ancor più evidente la differenza di stile rispetto ai Discorsi e Dimostrazioni che infatti sono un'opera completamente diversa nel pubblico, nelle finalità e quindi, inevitabilmente, nel registro comunicativo.
Galileo ritiene la scienza uno strumento di conoscenza e di descrizione della realtà ma ha chiaro in mente che un'idea è fondamentale che sia recepita per potersi diffondere ed adatta quindi il suo stile comunicativo in base alle esigenze e al pubblico.
La cosa forse più stupefacente è che in questa variazione di modalità comunicative Galileo non perde di rigore o di dettaglio di osservazione riferendosi comunque a due strumenti fondamentali per il sapere la realtà sensibile e la capacità di ragionamento della mente umana.

Appendice A

Studi sulla conformazione del Purgatorio e del Paradiso

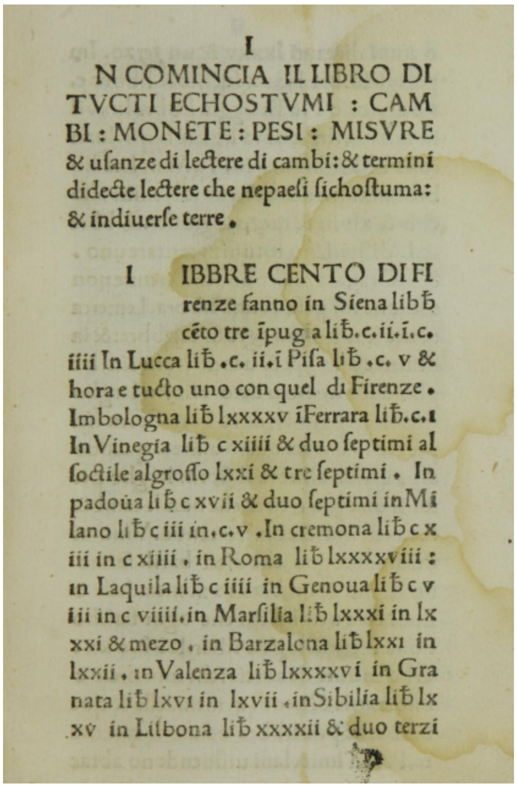
Nella presente appendice verranno introdotte alcuni elementi degli studi riguardanti la struttura degli altri due regni in cui è ambientato il poema di Dante: il Purgatorio e il Paradiso.
Il Purgatorio è sicuramente il regno su cui l'analisi della struttura è meno avanzata, le principali informazioni presenti in letteratura sono infatti di carattere generale.
Innanzitutto si tratta di un'isola-montagna generata dallo smottamento seguente alla caduta di Lucifero sulla Terra. Il materiale geologico liberato da questo evento, che ha permesso la formazione dell'Inferno, si è quindi accumulato agli antipodi rispetto a Gerusalemme formando una montagna in cui sono presenti le anime penitenti in attesa della redenzione finale.
Si va quindi a creare una retta che congiunge Gerusalemme, Lucifero che è a sua volta posizionato al centro della Terra e l'albero del bene e del male che è situato in cima alla montagna del Purgatorio e che è posto al centro del Paradiso Terrestre (Vespri 2020).
La letteratura scientifica non si è adoperata alla misura quantitativa di questa regione in maniera diffusa come per l'Inferno, e vedremo il Paradiso, ma piuttosto si è preferito studiare l'origine storica di questo regno che non è presente nelle Sacre Scritture.
Autorevoli studi di settore hanno mostrato come l'idea dell'esistenza di un luogo intermedio in cui le anime peccatrici possano percorrere un cammino di redenzione sia contemporanea a Dante. Una delle prime tracce letterarie in materia sono nel racconto medioevale noto come *Il Purgatorio di San Patrizio* mentre fu proprio il poeta toscano il primo, e probabilmente il più celebre, a indicarne la struttura in maniera dettagliata (Le Goff 1982)(Di Fonzo et al. 1999).
Molto più approfondito in letteratura invece è lo studio della struttura del Paradiso dantesco.
Innanzitutto sono necessarie alcune premesse. La prima riguarda la concezione dantesca dell'universo come composto da singoli particolari che però sono in continua relazione con la totalità e quindi ogni singolo aspetto oltre a un proprio significato ha un nesso con il complessivo.
Un'altra premessa è di natura letteraria e riguarda le informazioni che ci dà Dante sul Paradiso. Si tratta innanzitutto del luogo del riposo eterno delle anime salvate che contemplano la visione divina. È strutturato in cieli, uno per ogni pianeta come nella visione tolemaica dell'universo, che circondano la Terra successivamente è presente il cielo delle stelle fisse e infine il Primo Mobile, quella regione che delimita

l'universo.
Aldilà di questo, nonostante sembri una contraddizione la presenza di qualcosa aldilà dell'Universo, è presente l'Empireo, la candida rosa e i cerchi angelici che convergono verso Dio.
Il Paradiso è un luogo dove non vigono le regole della fisica terrestre e la materia non nè esperibile nè comprensibile per l'intelletto umano. In particolare l'Empireo è immateriale ed è aldilà dello spazio e si tratta di puro pensiero divino.
L'analisi metafisica del Paradiso esula dallo scopo della presente Tesi ma alcuni studiosi si sono interrogati sulla geometria di questo luogo e hanno formulato ipotesi che potessero preservare le conoscenze tolemaiche di Dante con l'unitarietà tra lo spazio della Creazione e quello del suo Creatore nella visione cristiana del mondo medioevale.
Nei primi decenni del '900 si diffuse la modellizzazione del Paradiso dantesco come un'ipersfera, ovvero una sfera in quattro dimensioni (Speiser 1925).
Si tratterebbe quindi di uno spazio curvo, e il centro di questa ipersfera è Dio, infatti ogni punto ha proprietà diverse in base alla propria distanza da Dio e in cui la quarta dimensione è un parametro della distanza spirituale da Dio (Peterson 1979).
È una struttura particolare in cui il Creatore è al centro di tutto ma anche abbraccia ogni cosa a seconda della proiezione con cui viene immaginato, una delle principali prove a sostegno di questa tesi è quella in cui Dante parla di come attraversa il Primo Mobile, la regione di confine tra i cieli planetari e l'Empireo. Non riferisce di un punto specifica, come una porta, ma di una regione uniforme che avvolge tutte le cose (Egginton 1999).
Abbiamo introdotto le ragioni culturali medievali e alcuni studi che hanno portato alla formulazione di questa ipotesi. Poiché l'analisi dettagliata esula dagli scopi della presente Tesi si rimanda alla letteratura citata per eventuali approfondimenti.
È inimmaginabile che Dante conoscesse le geometrie non euclidee o che le abbia intuite con sei secoli di anticipo ma sorge comunque la domanda di quali possano essere state le sue ispirazioni.
Alcuni studi citano il modello della cartografia tramite proiezione stereografica in cui i punti di una sfera vengono proiettati su una superficie tangente a uno dei poli della sfera stessa tramite la retta che congiunge il polo opposto a quello di tangenza col punto sulla sfera considerato (Vespri 2020).
Chiaramente Dante avrebbe dovuto compiere questa operazione aggiungendo un'ulteriore dimensione al modello complicando notevolmente la situazione e ciò sembra incomprensibile per le conoscenze matematiche medioevali.
L'ipotesi è quindi affascinante ma ricca di interrogativi, più storici che matematici, e che hanno stimolato la ricerca scientifica in materia mostrando ancora una volta l'altezza e l'acume dell'ingegno del celebre poeta fiorentino.

Appendice B

Tabelle delle unità di misura storiche fiorentine

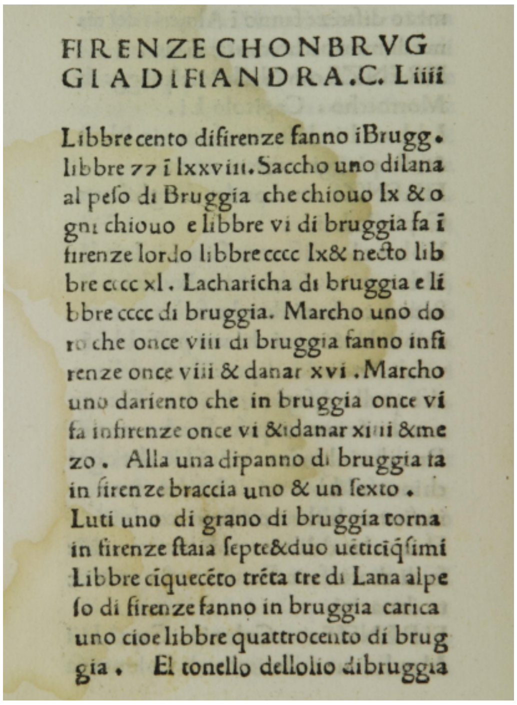
In questa appendice verranno mostrati alcune immagini e tabelle tratte da vari editti e documenti che mostrano i metodi di conversione tra unità di misura nel corso dei secoli, in particolare riguardo al braccio fiorentino.
Nel Rinascimento non esistevano documenti ufficiali di conversione tra unità di misura ma erano presenti dei manuali dell'arte della mercatura che aiutavano i commercianti a convertire le grandezze tra quelle del luogo di origine con quelle locali.
Si trattava di lunghi elenchi delle principali città con cui un'attività commerciava e illustravano, oltre alle unità di misura, anche le abitudini, le tradizioni e le tassazioni presenti nelle varie città.
Come visibile nella figura B.1 questi manuali comprendevano anche città estere come quelle fiamminghe e francesi.
Le conversioni non erano ufficiali ma erano figlie dell'esperienza empirica dei mercanti e quindi soggette a variazioni.
Uno degli editti più importanti nel Granducato di Toscana in fatto di unità di misura è quello del 1781, in cui venivano unificati il braccio da terra e quello da panno nella città di Firenze.
L'editto è visibile in figura B.2 e mostra il tentativo del governo locale di unificare o perlomeno di regolamentare le diverse unità di misura presenti nel regno.
Nel 1782 vennero pubblicate le tabelle di conversione tra le unità di misura presenti nelle varie città del Granducato con quelle fiorentine. In figura B.3 ad esempio è mostrata la tabella di conversione tra il braccio fiorentino e quello pistoiese che era uguale a un braccio fiorentino e un soldo, 61,281 cm invece dei 58,363 cm della misura del capoluogo.
Nel 1808 con la dominazione francese in Toscana le forze d'invasione introdussero per la prima volta il sistema metrico-decimale nell'ex Granducato.
Vennero pubblicate delle tavole di conversione come quelle in figura B.4 in cui le unità di misura fiorentine venivano convertite in quelle francesi.
Fu in questo periodo che vennero introdotti il metro, il chilogrammo e le altre unità di misura odierne. Tuttavia con l'avvento del Regno d'Italia, il nuovo stato ritenne di dover compiere una nuova opera di unificazione delle unità di misura su tutto il regno e nel 1877 pubblicarono un editto in cui venivano definitivamente convertite tutte le misure locali in quelle del giovane regno: il sistema metrico-decimale.
È possibile osservare la porzione dell'editto riservata al braccio fiorentino in figura B.5.



I
N COMINCIA IL LIBRO DI
TVCTI ECHOSTVMI : CAM
BI : MONETE : PESI : MISVRE
& uſanze di lectere di cambi:& termini
didecte lectere che nepaeſi ſichoſtuma:
& indiuerſe terre.

L IBBRE CENTO DI FI
renze fanno in Siena lib
cẽto tre ipug a lib.c.ii.i.c.
iiii In Lucca lib.c. ii.i Piſa lib.c. v &
hora e tucto uno con quel di Firenze.
Imbologna lib lxxxxv iFerrara lib.c.i
In Vinegia lib c xiiii & duo ſeptimi al
ſoctile algroſſo lxxi & tre ſeptimi. In
padoua lib c xvii & duo ſeptimi in Mi
lano lib c iii in.c.v .In cremona lib c x
iii in c xiiii. in Roma lib lxxxxviii :
in Laquila lib c iiii in Genoua lib c v
iii in c viiii.in Marſilia lib lxxxi in lx
xxi & mezo. in Barzalona lib lxxi in
lxxii. in Valenza lib lxxxxvi in Gra
nata lib lxvi in lxvii. in Sibilia lib lx
xv in Liſbona lib xxxxii & duo terzi

(a) *Introduzione del manuale di mercatura*

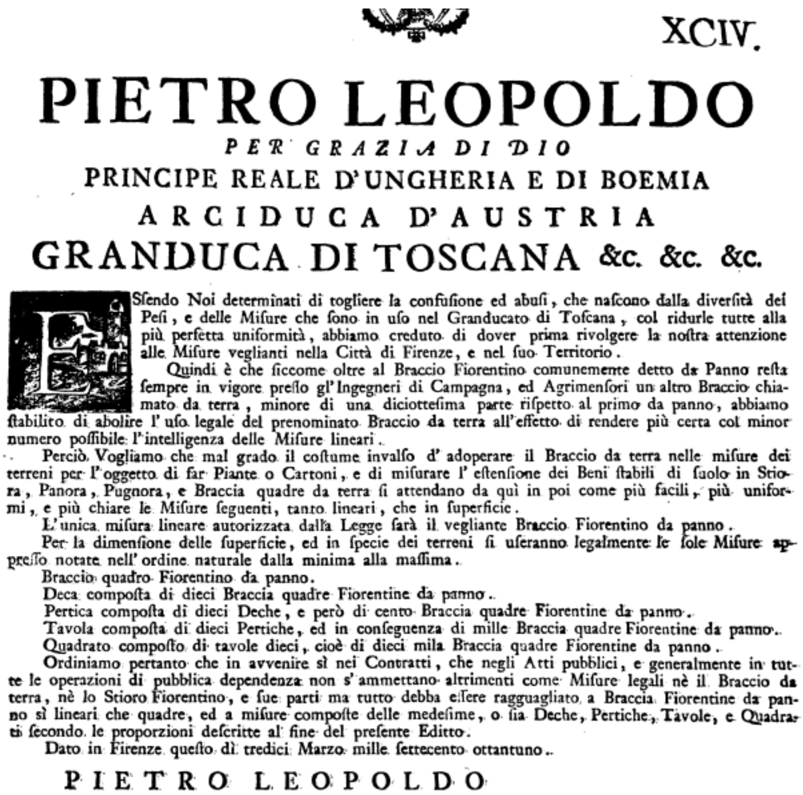


FIRENZE CHON BRVG
GIA DI FIANDRA.C. Liiii

Libbre cento difirenze fanno iBrugg.
libbre 77 i lxxviii. Saccho uno dilana
al peſo di Bruggia che chiouo lx & o
gni chiouo e libbre vi di bruggia fa i
firenze lordo libbre cccc lx& necto lib
bre cccxl. Lacharicha di bruggia e li
bbre cccc di bruggia. Marcho uno do
ro che once viii di bruggia fanno infi
renze once viii & danar xvi. Marcho
uno dariento che in bruggia once vi
fa infirenze once vi &danar xiiii &me
zo. Alla una dipanno di bruggia fa
in firenze braccia uno & un ſexto.
Luti uno di grano di bruggia torna
in firenze ſtaia ſepte&duo ueticiqſimi
Libbre ciquecẽto trẽta tre di Lana alpe
ſo di firenze fanno in bruggia carica
uno cioe libbre quattrocento di brug
gia. El tonello dellolio dibruggia

(b) *Capitolo delle conversioni con l'odierna città di Bruges in Belgio*

Figura B.1: In figura vengono mostrate due pagine di un manuale di mercatura del 1481 in cui sono elencate le conversioni delle unità di misura tra quelle vigenti a Firenze e quelle nelle altre città



XCIV.

PIETRO LEOPOLDO
PER GRAZIA DI DIO
PRINCIPE REALE D'UNGHERIA E DI BOEMIA
ARCIDUCA D'AUSTRIA
GRANDUCA DI TOSCANA &c. &c. &c.

Essendo Noi determinati di togliere la confuſione ed abuſi, che naſcono dalla diverſità dei Peſi, e delle Miſure che ſono in uſo nel Granducato di Toſcana, col ridurle tutte alla più perfetta uniformità, abbiamo creduto di dover prima rivolgere la noſtra attenzione alle Miſure veglianti nella Città di Firenze, e nel ſuo Territorio.

Quindi è che ſiccome oltre al Braccio Fiorentino comunemente detto da Panno reſta ſempre in vigore preſſo gl'Ingegneri di Campagna, ed Agrimenſori un altro Braccio chiamato da terra, minore di una diciotteſima parte riſpetto al primo da panno, abbiamo ſtabilito di abolire l'uſo legale del prenominato Braccio da terra all'effetto di rendere più certa col minor numero poſſibile l'intelligenza delle Miſure lineari.

Perciò Vogliamo che mal grado il coſtume invalſo d'adoperare il Braccio da terra nelle miſure dei terreni per l'oggetto di far Piante o Cartoni, e di miſurare l'eſtenſione dei Beni ſtabili di ſuolo in Stiora, Panora, Pugnora, e Braccia quadre da terra ſi attendano da quì in poi come più facili, più uniformi, e più chiare le Miſure ſeguenti, tanto lineari, che in ſuperficie.

L'unica miſura lineare autorizzata dalla Legge ſarà il vegliante Braccio Fiorentino da panno.

Per la dimenſione delle ſuperficie, ed in ſpecie dei terreni ſi uſeranno legalmente le ſole Miſure appreſſo notate nell'ordine naturale dalla minima alla maſſima.

Braccio quadro Fiorentino da panno.

Deca compoſta di dieci Braccia quadre Fiorentine da panno.

Pertica compoſta di dieci Deche, e però di cento Braccia quadre Fiorentine da panno.

Tavola compoſta di dieci Pertiche, ed in conſeguenza di mille Braccia quadre Fiorentine da panno.

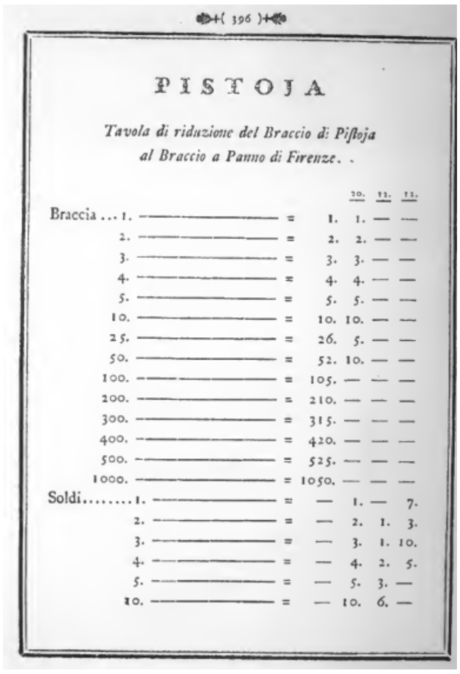
Quadrato compoſto di tavole dieci, cioè di dieci mila Braccia quadre Fiorentine da panno.

Ordiniamo pertanto che in avvenire sì nei Contratti, che negli Atti pubblici, e generalmente in tutte le operazioni di pubblica dependenza non s'ammettano altrimenti come Miſure legali nè il Braccio da terra, nè lo Stioro Fiorentino, e ſue parti ma tutto debba eſſere ragguagliato a Braccia Fiorentine da panno sì lineari che quadre, ed a miſure compoſte delle medeſime, o ſia Deche, Pertiche, Tavole, e Quadrati ſecondo le proporzioni deſcritte al fine del preſente Editto.

Dato in Firenze queſto dì tredici Marzo mille ſettecento ottantuno.

PIETRO LEOPOLDO

Figura B.2: In figura è raffigurato l'editto del 1781 con cui il Granduca Leopoldo ha unificato il braccio da terra e il braccio da panno



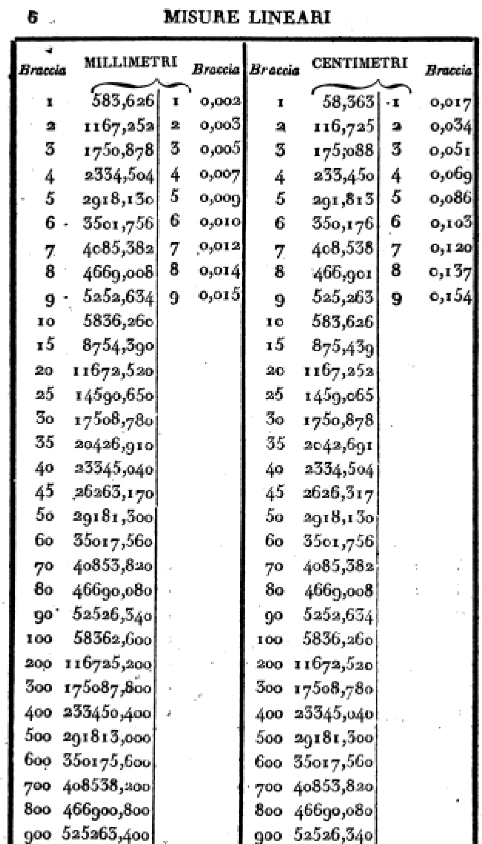
396

PISTOJA

Tavola di riduzione del Braccio di Pistoja al Braccio a Panno di Firenze.

			20.	12.	12.
Braccia ...	1.	=	1.	1. —	—
	2.	=	2.	2. —	—
	3.	=	3.	3. —	—
	4.	=	4.	4. —	—
	5.	=	5.	5. —	—
	10.	=	10.	10. —	—
	25.	=	26.	5. —	—
	50.	=	52.	10. —	—
	100.	=	105.	— —	—
	200.	=	210.	— —	—
	300.	=	315.	— —	—
	400.	=	420.	— —	—
	500.	=	525.	— —	—
	1000.	=	1050.	— —	—
Soldi........	1.	=	—	1. —	7.
	2.	=	—	2. 1.	3.
	3.	=	—	3. 1.	10.
	4.	=	—	4. 2.	5.
	5.	=	—	5. 3.	—
	10.	=	—	10. 6.	—

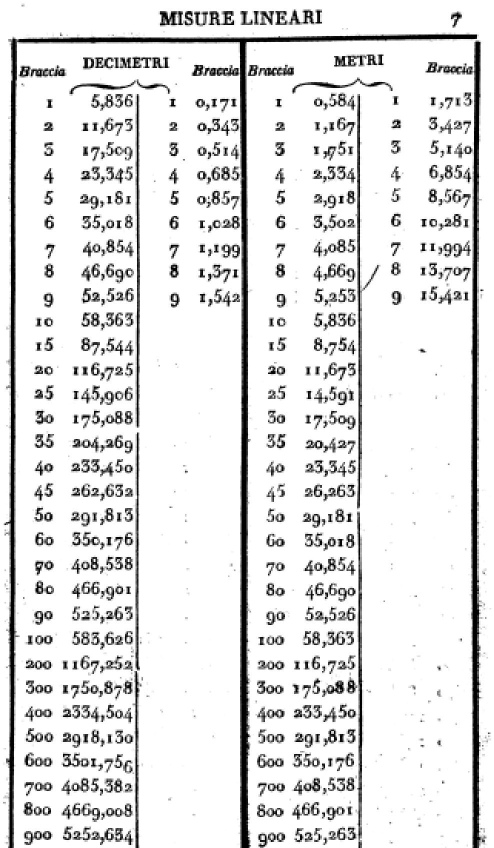
Figura B.3: In figura è raffigurata la tabella di conversione del braccio fiorentino con quello pistoiese contenuta nelle tavole di conversione pubblicate nel Granducato di Toscana nel 1782



6 MISURE LINEARI

Braccia	MILLIMETRI		Braccia	Braccia	CENTIMETRI		Braccia
1	583,626	1	0,002	1	58,363	1	0,017
2	1167,252	2	0,003	2	116,725	2	0,034
3	1750,878	3	0,005	3	175,088	3	0,051
4	2334,504	4	0,007	4	233,450	4	0,069
5	2918,130	5	0,009	5	291,813	5	0,086
6	3501,756	6	0,010	6	350,176	6	0,103
7	4085,382	7	0,012	7	408,538	7	0,120
8	4669,008	8	0,014	8	466,901	8	0,137
9	5252,634	9	0,015	9	525,263	9	0,154
10	5836,260			10	583,626		
15	8754,390			15	875,439		
20	11672,520			20	1167,252		
25	14590,650			25	1459,065		
30	17508,780			30	1750,878		
35	20426,910			35	2042,691		
40	23345,040			40	2334,504		
45	26263,170			45	2626,317		
50	29181,300			50	2918,130		
60	35017,560			60	3501,756		
70	40853,820			70	4085,382		
80	46690,080			80	4669,008		
90	52526,340			90	5252,634		
100	58362,600			100	5836,260		
200	116725,200			200	11672,520		
300	175087,800			300	17508,780		
400	233450,400			400	23345,040		
500	291813,000			500	29181,300		
600	350175,600			600	35017,560		
700	408538,200			700	40853,820		
800	466900,800			800	46690,080		
900	525263,400			900	52526,340		
1000	583626,000			1000	58362,600		

(a) *Conversione del braccio fiorentino in millimetri e centimetri*



MISURE LINEARI 7

Braccia	DECIMETRI		Braccia	Braccia	METRI		Braccia
1	5,836	1	0,171	1	0,584	1	1,713
2	11,673	2	0,343	2	1,167	2	3,427
3	17,509	3	0,514	3	1,751	3	5,140
4	23,345	4	0,685	4	2,334	4	6,854
5	29,181	5	0,857	5	2,918	5	8,567
6	35,018	6	1,028	6	3,502	6	10,281
7	40,854	7	1,199	7	4,085	7	11,994
8	46,690	8	1,371	8	4,669	8	13,707
9	52,526	9	1,542	9	5,253	9	15,421
10	58,363			10	5,836		
15	87,544			15	8,754		
20	116,725			20	11,673		
25	145,906			25	14,591		
30	175,088			30	17,509		
35	204,269			35	20,427		
40	233,450			40	23,345		
45	262,632			45	26,263		
50	291,813			50	29,181		
60	350,176			60	35,018		
70	408,538			70	40,854		
80	466,901			80	46,690		
90	525,263			90	52,526		
100	583,626			100	58,363		
200	1167,252			200	116,725		
300	1750,878			300	175,088		
400	2334,504			400	233,450		
500	2918,130			500	291,813		
600	3501,756			600	350,176		
700	4085,382			700	408,538		
800	4669,008			800	466,901		
900	5252,634			900	525,263		
1000	5836,260			1000	583,626		

(b) *Conversione del braccio fiorentino in decimetri e metri*

Figura B.4: In figura vengono mostrate le tabelle di conversione tra unità metrico-decimali e braccio fiorentino promulgate dal governo francese in Toscana nel 1808

PROVINCIA DI FIRENZE

CIRCONDARIO DI FIRENZE

COMUNI	MISURE LOCALI		MISURE METRICHE	
	DENOMINAZIONE	VALORE in MISURE METRICHE	DENOMINAZIONE	VALORE in MISURE LOCALI
MISURE DI LUNGHEZZA				
TUTTI I COMUNI DEL CIRCONDARIO	Braccio fiorentino.........	Metri 0,5836	Metro	Braccia 1,7134
	Passetto.................	1,1673	Id.	Passetti 0,8567
	Canna agrimensoria.......	2,9181	Id.	Canne 0,3427

Il Braccio fiorentino, detto anticamente *Braccio a panno*, si divide in 20 Soldi,
il Soldo in 12 Denari,
il Denaro in 12 Punti.
Il Passetto si divide in 2 Braccia, e si usa per le stoffe.
La Canna agrimensoria si divide in 5 Braccia, ossia in Passetti 2 $^1/_2$.
La Canna mercantile si divide in 4 Braccia.
Il Miglio toscano, misura itineraria, è di Canne agrimensorie 566 $^2/_3$ ossia Braccia 2833 $^1/_3$. Il Miglio riformato si fa di 3000 Braccia legali.
Anticamente dicevasi *Grazia* la misura equivalente ad $^1/_{12}$ del Braccio.
Nel Comune di Palazzuolo le tessitrici usavano il Braccio da tela di Bologna equivalente a Centimetri 64.

Figura B.5: In figura è raffigurata a tabella di conversione presente nell'editto reale del 1877 in cui si stabiliscono le conversioni tra le unità di misura locali italiane e il sistema metrico decimale adottato in Italia. In particolare si mostrano le tabelle relative al braccio fiorentino

Bibliografia

Abdukhalimov, Bahrom (1999). «Ahmad al-farghānī and his "Compendium of Astronomy"». In: *Journal of Islamic Studies* 10.2, pp. 142–158.

Alighieri, Dante (1993). *La Divina Commedia, Inferno, Annotata e commentata da Tommaso Di Salvo, con illustrazioni*. Zanichelli.

Alighieri, Dante e Giorgio Padoan (1968). *De situ et forma aque et terre*. Le Monnier.

Angelini, Magnaghi Delfino et al. (2013). «MatematicArte: la lezione di Galileo Galilei sulla struttura dell'Inferno di Dante MatematicArte: the lesson of Galileo Galilei on structure of Dante's Inferno». In.

Armijo Canto, Maruxa (1998). «Las matemáticas en el Infierno». In: *Edad media : marginalidad y oficialidad*, pp. 117–133.

Aujac, Germaine et al. (1987). «Greek cartography in the early Roman world». In: *The history of cartography* 1, pp. 161–176.

Aujac, Germaine, J Harley e David Woodward (1987). «The growth of an empirical cartography in Hellenistic Greece». In: *The history of cartography* 1, pp. 148–160.

Barbi, Michele (1890). *Della fortuna di Dante nel secolo XVI*. Tip. T. Nistri ec.

Benivieni, Girolamo (1897). *Dialogo di Antonio Manetti: cittadino fiorentino, circa al sito, forma et misure dello" inferno" di Dante Alighieri, poeta excellentissimo; ristampato di su la prima edizione, col riscontro del ms. Riccardiano, aggiuntavi una nuova tavola e un'introduzione di Nicola Zingarelli*. Vol. 37. S. Lapi.

Biagi, Guido (1893). *Dante illustrato da Giovanni Stradano: Illustrazioni alla Divina Commedia dell'artista fiammingo Giovanni Stradano 1587, riprodotte in fototipia dall'originale conservato nella R. Biblioteca Medicea Laurenziana di Firenze*. Alinari.

Bibliothèque nationale de France (1891). *Le Opere di Galileo Galilei*. URL: `https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k948945.texteImage`.

Blanco Jimenez, Josè (2009). *Galileo dantologo : escritos de Galileo sobre Dante*. Santiago de Chile : Video carta.

Bonechi, Sara (2008). *Biografia in breve di Galileo Galilei*. Istituto e Museo di Storia della Scienza.

Bottagisio, Giovanni (1894). *Osservazioni sopra la fisica del poema di Dante*. Vol. 10. S. Lapi.

Bourbaki, Nicolas (1972). «Elementos de historia de la matemática, trad». In: *Jesús Hernández, Alianza, Madrid*.

Brunner, Michael e Corrado Gizzi (1994). «Alcune note sulla commissione dei disegni danteschi di Giovanni Stradano». In: *Giovanni Stradano e Dante*, pp. 123–32.

Bunbury, Edward Herbert (1879a). *A history of ancient geography: among the Greeks and Romans from the earliest ages till the fall of the Roman Empire*. Vol. 1. John Murray.

— (1879b). *A history of ancient geography: among the Greeks and Romans from the earliest ages till the fall of the Roman Empire*. Vol. 2. John Murray.

Burattini, Tito Livio (1675). *Misura universale di Tito Livio Burattini*. Stamperia dei padri francescani.

Cantoni, Virginio, Vittorio Marchis e Edoardo Rovida (2014). *Storia della meccanica*. Pavia University Press.

Copernicus, Nicolaus et al. (1873). *De revolutionibus orbium caelestium*. sumptibus societatis copernicanae.

Cottignoli, Alfredo (2002). «II Galileo lettore di Dante». In: *Studi e problemi di critica testuale* 64, pp. 83–92.

Cristiani, Girolamo Francesco (1760). *Delle misure d'ogni genere antiche, e moderne: con note literarie, e fisico-matematiche, a giovamento di qualunque architetto*. dalle stampe di Giambatista Bossini.

Dante, Aligheri (2023). *Convivio*. BoD-Books on Demand.

De Angelis, Alessandro et al. (2021). *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze di Galileo Galilei. Per il lettore moderno*. Codice Edizioni srl.

Di Fonzo, Claudia et al. (1999). «La leggenda del «Purgatorio di S. Patrizio» nella tradizione di commento trecentesca». In: *Dante e il locus inferni. Creazione letteraria e tradizione interpretativa*. Vol. 4. Bulzoni, pp. 53–72.

Dilke, Oswald AW et al. (1987). «The culmination of Greek cartography in Ptolemy». In: *The History of Cartography* 1, pp. 177–200.

Dugas, René (1988). *A history of mechanics*. Courier Corporation.

Duhem, Pierre (1991). *The origins of statics: the sources of physical theory*. Vol. 123. Springer Science & Business Media.

Dunham, William (1990). *Journey Through Genius Journey Through Genius*.

Egginton, William (1999). «On Dante, Hyperspheres, and the curvature of the medieval cosmos». In: *Journal of the History of Ideas* 60.2, pp. 195–216.

Enciclopedia Dantesca (1970). *Quaestio de aqua et terra*. URL: `https://www.treccani.it/enciclopedia/quaestio-de-aqua-et-terra_%28Enciclopedia-Dantesca%29/`.

Favaro, Antonio (1890). *Per la edizione nazionale delle opere di Galileo Galilei...* Vol. 1. Tip. di G. Barbèra.

— (1899). *Per la edizione nazionale delle opere di Galileo Galilei...* Vol. 9. Tip. di G. Barbèra.

Fedi, Roberto (2019). «Dante e Galileo». In: *MLN* 134.6, S–33.

Festa, Egidio (2012). *Galileo: la lotta per la scienza*. Gius. Laterza & Figli Spa.

Fibonacci, Leonardo e Baldassarre Boncompagni (2020). *Liber abbaci*. Leo S. Olschki.

Galilei, Galileo (1638). *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e ai moti locali*. Ludovico Elzeviri presso Leida.

— (1793). *Considerazioni al Tasso di Galileo Galilei e Discorso di Giuseppe Iseo sopra il poema di M. Torquato Tasso, per dimostrazione di alcuni luoghi in diversi autori da lui felicemente emulati. Edited by Pietro Pasqualoni from the MS. of PA Serassi*. dalle stampe di Sebastiano Valle.

— (2002). «Le mecaniche». In.

Galilei, Galileo e Riccardo Pratesi (2011). *Galileo Galilei:* due lezioni all'Accademia fiorentina circa la figura, sito e grandezza dell'Inferno di Dante*. Sillabe.

Galilei, Vincenzo (1581). *Dialogo Di Vincentio Galilei Nobile Fiorentino Della Mvsica Antica, Et Della Moderna*. Giorgio Marescotti.

Giannichedda, Enrico (2008). «Pesi e misure: storia e archeologia di sistemi eterogenei». In: *Il Rinascimento italiano e l'Europa*, pp. 641–657.

Gigli, Ottavio e Galileo Galilei (1855). *Studi sulla Divina Commedia di Galileo Galilei, Vincenzo Borghini ed altri*. Felice Le Monnier.

Gilson, Simon A (2000). *Medieval optics and theories of light in the works of Dante*. Edwin Mellen Press.

Gliozzi, Mario (2005). *Storia della fisica*. Bollati Boringhieri.

Grant, Edward (1974). *A source book in medieval science*. Vol. 13. Harvard University Press.

— (1996). *Planets, stars, and orbs: the medieval cosmos, 1200-1687*. CUP Archive.

Grünbein, Durs (2003). «Galileo misura l'inferno di Dante e resta impigliato nelle misure». In: *Smerilliana* 2, pp. 295–306.

Kimble, George Herbert Tinley (1938). *Geography in the middle ages*.

Landino, Cristoforo (1481). «La Commedia col commento di Cristoforo Landino». In.

Lattis, James M (1994). *Between Copernicus and Galileo: Christoph Clavius and the collapse of ptolemaic cosmology*. University of Chicago Press.

Le Goff, Jacques (1982). *La nascita del Purgatorio*. Einaudi.

Lévy-Leblond, Jean-Marc (2007). «La velocità dell'ombra». In: *Ai limiti della scienza. Codice.*

— (2009). «Galileo nell'inferno di Dante». In: *Oxygen*, pp. 76–81.

— (2022). «A Mathematical Physicist in Hell: Galileo on the Geometry of Dante's Inferno». In: *Imagine Math 8: Dreaming Venice*. Springer, pp. 435–454.

Li, Yong e Xiao-Chun Sun (2009). «Gnomon shadow lengths recorded in the Zhoubi Suanjing: the earliest meridian observations in China?» In: *Research in Astronomy and Astrophysics* 9.12, p. 1377.

Maletta, Rosalba (2021). «Durs Grünbein. Un'idea di Dante 3D». In: *Enthymema* 28, pp. 171–203.

Manrique, Alejandro (2014). «Dante y Galileo: unidos por el Infierno». In: *Revista iberoamericana de ciencia tecnologıía y sociedad* 9.27, pp. 215–221.

Marchi, Cesare (1964). *Dante in esilio*. Longanesi.

Martins, Roberto de Andrade (2003). «Las fuentes literarias del Tratado de la Esfera de Sacrobosco». In.

Mercier, Raymond P (1992). «Geodesy». In.

Molland, AG (1994). «The philosophical context of medieval and Renaissance mathematics». In: *Companion Encyclopedia of the history and philosophy of the mathematical sciences: Volume One*, pp. 281–285.

Needham, Joseph (1974). *Science and civilisation in China*. Vol. 5. Cambridge University Press.

Oliva, Cesare (2002). «All'inferno con Galileo». In: *Memorie scientifiche, giuridiche, letterarie*, pp. 7–29.

Panofsky, Erwin (1956). «Galileo as a critic of the arts: Aesthetic attitude and scientific thought». In: *Isis* 47.1, pp. 3–15.

Pegolotti, Francesco Balducci (1766). *La pratica della mercatura scritta da Francesco Balducci Pegolotti.* e si vende da Giuseppe Bouchard librajo francese in Firenze.

Pesic, Peter (2002). «Comment on "Galileo's discovery of scaling laws," by Mark A. Peterson [Am. J. Phys. 70 (6), 575–580 (2002)]–Galileo and the existence of hell». In: *American Journal of Physics* 70.11, pp. 1160–1161.

Peterson, Mark A (1979). «Dante and the 3-sphere». In: *American Journal of Physics* 47.12, pp. 1031–1035.

— (2002). «Galileo's discovery of scaling laws». In: *American Journal of Physics* 70.6, pp. 575–580.

Pirovano, Donato et al. (2020). «Vellutello, Alessandro». In: *Dizionario Biografico degli Italiani (Valeriani-Verra)*. Vol. 98. Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, pp. 492–495.

Raffin, Françoise (1992). «Vision métaphorique et conception mathématique de la nature: Galilée lecteur du Tasse». In: *Chroniques italiennes* 29.1, pp. 1–13.

Russo, Lucio et al. (2003). *The forgotten revolution: how science was born in 300 BC and why it had to be reborn*. Springer Science & Business Media.

Russo, Lucio (2013). «Ptolemy's longitudes and Eratosthenes' measurement of the earth's circumference». In: *Mathematics and mechanics of complex systems* 1.1, pp. 67–79.

Sacrobosco, Giovanni (1561). *La Sfera di Messer Giovanni Sacrobosco tradotta emendata e distinta in Capitoli da Pieruincentio Dante de Rinaldi con molte e utili Annotazioni del Medesimo*. Giunti.

Schmitt, Charles B (1969). «Experience and Experiment: A Comparison of Zabarella's View with Galileo's in De motu». In: *Studies in the Renaissance* 16, pp. 80–138.

Settle, Thomas B (2001). «Experimental sense in Galileo's early works and its likely sources». In: *Largo campo di filosofare*, pp. 831–849.

Sparavigna, Amelia Carolina (2012). «From Rome to the antipodes: the medieval form of the world». In: *arXiv preprint arXiv:1211.3004*.

— (2016). «Physics and Optics in Dante's Divine Comedy». In.

Speiser, Andreas (1925). *Klassische Stücke der Mathematik*. Vol. 2. Orell Füssli.

Stahl, William Harris (1942). «Astronomy and Geography in Macrobius». In: *Transactions and Proceedings of the American Philological Association*. JSTOR, pp. 232–258.

Stefanini, Ledo (2008). «Le Lezioni galileiane sull'Inferno di Dante». In: *Atti e memorie dell'Accademia nazionale virgiliana di scienze lettere e arti* 76, pp. 113–129.

Tozer, Henry Fanshawe (1971). *A history of ancient geography*. Biblo & Tannen Publishers.

Tozzetti, G Targioni (1780). *Atti e memorie inedite dell'Accademia del Cimento*. Vol. 2. 1. Firenze: Giuseppe Tosani, pp. 62–76.

Tucci, Ugo (1974). «La metrologia storica-qualche premessa metodologica». In: *Zbornik Odsjeka za povijesne znanosti Zavoda za povijesne i društvene znanosti Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti* 7, pp. 305–321.

Uzielli, Gustavo (1899). *Le misure lineari medioevali e l'effigie di Cristo*. Bernardo Seeber, Libraio-editore.

Vaccheri, Giulio Giuseppe e Cosimo Bertacchi (1881). *Cosmografia della Divina commedia: la visione di Dante Allighieri considerata nello spazio e nel tempo*. G. Candeletti.

Valori, Filippo (1604). *Termini di mezzo rilieuo e d'intera dottrina tra gl'archi di Casa Valori in Firenze col sommario della vita d'alcuni. Compendio dell'opere de gl'altri. E indizio di tutti gl'aggiunti nel Discorso dell'eccellenza degli scrittori, e nobilta de gli studi fiorentini*. appresso Cristofano Marescotti.

Van Egmond, Warren (1994). «Abbacus arithmetic». In: *Companion Encyclopedia of the History and Philosophy of the Mathematical Sciences* 1, pp. 200–9.

Vellutello, Alessandro (1544). *La Comedia di Dante Aligieri, con la nova espositione di Alessandro Vellutello*. Impressa in Vinegia: per Francesco Marcolini.

Vespri, Vincenzo (2020). «La geometría dell'universo dantesco». In: *Entre epígonos y autoinspección. Actas del II congreso andino de estudios sobre dante alighieri*. Centro de Publicaciones, pp. 127–156.

— (2021). «La Geometria nell'architettura dei mondi ultraterreni di Dante». In: *La Geometria nell'architettura dei mondi ultraterreni di Dante*, pp. 85–98.

Viviani, Vincenzio e Ferdinando Flora (1954). *Vita di Galileo. Il processo di Galileo*. Rizzoli.

Wright, John Kirtland (1925). *The geographical lore of the time of the Crusades: A study in the history of medieval science and tradition in Western Europe*. 15. American geographical society.

Zupko, Ronald Edward (1981). *Italian weights and measures from the Middle Ages to the nineteenth century*. Vol. 145. American Philosophical Society.